

# **TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**Fakulta strojní**

**Katedra obrábění a montáže**

Bakalářský studijní program : 2341 B strojírenství

Zaměření : Výrobní systémy – řízení výroby

## **ZKOUŠKY ŘEZNÝCH KAPALIN**

## **TESTS OF CUTTING LIQUIDS**

**KOM – 988**

**Vlastimil Chocenský**

Vedoucí práce : Ing. Leoš Holub, CSc. – TU v Liberci

Konzultant : Doc.Ing. Jan Jersák, Csc. – TU v Liberci

Počet stran : 52

Počet příloh : 1

Počet obrázků : 11

Počet tabulek: 7

Počet diagramů :13

Datum : 27.5.2004



## **Zkoušky řezných kapalin**

### *ANOTACE:*

Tato práce se zabývá porovnáním vlastností řezného oleje Paracut 32 a řezné emulze Paramul ERO – SB při podélném soustružení.

V teoretické části jsou popsány základní veličiny, které ovlivňují proces obrábění. Dále je zde popsána metodika provedených zkoušek a způsob vyhodnocení naměřených hodnot.

V experimentální části jsou naměřené hodnoty shrnuty v měřících protokolech a vyhodnoceny pomocí tabulek a grafů.

## **TESTS OF CUTTING LIQUIDS**

### *ANNOTATION:*

This work describes differences between two cutting liquids Paracut 32 and Paramul ERO – SB during of lengthwise turning.

In a experimental part of this work, there are described quantities, influencing the process of machining.

The rates are summerized in tables in experimental part of this work together with graphs.

**Klíčová slova :** Řezná kapalina, řezný olej, řezná emulze

**Zadavatel :** TU v Liberci – KOM

**Dokončeno:** 2004

**Archivní označ. zprávy:**

**Počet stran :** 52

**Počet příloh :** 1

**Počet obrázků :** 11

**Počet tabulek:** 7

**Počet diagramů:** 13

Chtěl bych touto cestou poděkovat Ing. Leoši Holubovi CS.c, vedoucímu mé bakalářské práce za všechny rady a připomínky, dále také konzultantu Doc. Ing. Janu Jersákovi CS.c, za poskytnutí potřebných informací při zpracování bakalářské práce a také všem ostatním, kteří mně pomáhali a podporovali.

# Obsah

<b>Seznam použitých zkratk.....</b>	<b>7</b>
<b>Úvod.....</b>	<b>9</b>
<b>1 Literární rešerše.....</b>	<b>10</b>
1.1.Definice procesu obrábění.....	10
1.2.Tvorba třísky.....	11
1.3.Tepelná bilance procesu obrábění.....	12
1.4.Opotřebení bříty.....	13
1.5.Vliv řezných kapalin na proces obrábění.....	14
<b>2 Návrh metodiky zkoušek pro osově operace.....</b>	<b>15</b>
2.1.Metodika zkoušek.....	15
2.2.Měření sil a výkonu při obrábění.....	19
2.3.Měření drsnosti povrchu obrobku.....	20
2.4.Měření opotřebení nástroje.....	21
2.5.Statistické zpracování experimentů.....	22
<b>3 Návrh rozsahu řezných podmínek.....</b>	<b>23</b>
3.1.Materiály použité při zkouškách.....	23
3.2.Přístroje a zařízení.....	23
3.3.Návrh řezných podmínek.....	24
3.4.Zkoušené řezné kapaliny.....	24
3.4.1. Paracut 32.....	24
3.4.2. Paramul ERO – SB.....	25
<b>4 Provedení experimentů pro vybrané vzorky řezných kapalin.....</b>	<b>25</b>
4.1.Zpracování protokolů měření.....	25
4.2.Protokoly měření.....	26
<b>5 Vyhodnocení experimentů.....</b>	<b>46</b>
5.1. Hodnocení provedených zkoušek.....	46

5.2.Hodnocení výkonových parametrů.....	46
5.3.Hodnocení parametrů drsnosti povrchu.....	46
5.3.1. Parametr Ra.....	46
5.3.2. Parametr Rz.....	46
5.3.3. Parametr Rt.....	46
5.3.4. Nosný podíl MAKRO $t_{Pa}$ 100% .....	53
5.4.Hodnocení opotřebení nástroje.....	54
5.5.Hodnocení utváření třísky.....	54
 <b>6 Závěr.....</b>	<b>54</b>
<b>Seznam literatury.....</b>	<b>57</b>
<b>Seznam příloh.....</b>	<b>57</b>

## Seznam zkratek

$\alpha_0$  - nástrojový ortogonální úhel hřbet [°]

$\gamma_0$  - nástrojový ortogonální úhel čela [°]

$\kappa_r$  - nástrojový úhel nastavení [°]

$\lambda_s$  - nástrojový úhel sklonu ostří [°]

$a_p$  - hloubka záběru [mm]

$d$  - dílky měřicího přístroje [1]

$D$  - průměr obrobku [mm]

$f$  - posuv [mm/ot]

$F_c$  - řezná síla [N]

$k$  - konstanta wattmetru [1]

$KB$  - šířka výmolu na čele řezného nástroje [mm]

$KT$  - hloubka šířka výmolu na čele řezného nástroje [mm]

$l$  - délka [mm]

$n$  - otáčky při obrábění [ot/s, ot/min]

$n$  - počet experimentů [1]

$P$  - užitečný výkon [W]

$Q_{DI}$  - v důsledku deformace v oblasti primárních plastických deformací [J]

$Q_{DII}$  - v oblasti sekundárních plastických deformací [J]

$Q_{DIII}$  - v oblasti terciálních deformací [J]

$Q_N$  - teplo odvedené nástrojem [J]

$Q_O$  - teplo, které přešlo do obrobku [J]

$Q_P$  - teplo pohlcené prostředím [J]

$Q_T$  - teplo pohlcené třískou [J]

$Q_{TC}$  - tření třísky po čele nástroje [J]

$Q_{TH}$  - tření třísky po hřbetě nástroje [J]

$R_a$  - prům. aritmetická úchylka posuzovaného profilu [ $\mu\text{m}$ ]

$R_t$  - celková výška profilu [ $\mu\text{m}$ ]

$R_z$  - výška nerovností z deseti bodů [ $\mu\text{m}$ ]

$RO$  - rychlořezná ocel

$s$  - výběrová směrodatná odchylka [1]

$t_{\alpha, n-1}$  - kritická hodnota rozdělení  $t$  [1]

$t_{Pa}$  - nosný podíl MAKRO 100% [ $\mu\text{m}$ ]

$v_c$  – řezná rychlost [m/s,m/min]

VB – střední šířka opotřebení na hřbetu řezného nástroje [mm]

VN – maximální opotřebení hřbetu [mm]

x – osa daná dráhou dotykového profilometru

$\bar{x}$  - aritmetický průměr

$x_i$  – naměřená hodnota

z – výška posuzovaného profilu [ $\mu\text{m}$ ]

$z_p$  - výška výstupku posuzovaného profilu [ $\mu\text{m}$ ]

$z_v$  – výška prohlubně posuzovaného profilu [ $\mu\text{m}$ ]



## Úvod

Ekonomické a zejména ekologické důvody vedou výrobní podniky ke snaze snižovat objem používaných řezných kapalin na technologicky únosné minimální množství nebo obrábět zcela bez chlazení. Některé technologie, zejména soustružení a frézování nástroji se slinutými karbidy, často umožňují obrábět bez použití řezných kapalin, pokud jsou vhodně voleny řezné materiály a řezné podmínky. I při obrábění za sucha lze dosáhnout dostatečné produktivity práce při zachování požadovaných vlastností obrobku. Lze tak výrazně ušetřit na nákladech na řezné kapaliny, jejich výměnu, údržbu a recyklaci, na odstraňování zbytků kapalin z obrobků a třísek atd.

V řadě případů však není dosud možné realizovat tzv. „suché obrábění“ z technologických hledisek, kterými jsou tvorby nárůstků, přesnost obrábění, trvanlivost nástrojů zejména z nástrojových ocelí, jakost povrchu nebo nutné odstraňování třísek. Řezné kapaliny totiž zásadním způsobem ovlivňují proces obrábění. Pokud tyto látky vytvářejí v oblasti řezání mazací film, pak snižují velikost tepla vzniklého třením na čele a na hřbetu nástroje a jejich účinek je především mazací. Jiná situace nastává, pokud kapalina zvyšuje podíl tepla, které se odvádí do okolního prostředí a tím snižuje podíl tepla odvedeného do třísky, obrobku a nástroje. Účinek těchto kapalin je především chladicí. V řadě případů řezné kapaliny také zajišťují lepší odvod třísek, např. při hlubokém vrtání. Kromě těchto základních účinků ovlivňují řezné kapaliny mechaniku tvorby třísky, silové jevy na stykových plochách, velikost deformační práce při obrábění, tvorbu nárůstků, topografii obrobeného povrchu, velikost minimální tloušťky odebírané vrstvy, zpevnění a zbytková pnutí v povrchové vrstvě. Uvedené účinky řezných kapalin jsou dány jejich chemickými a fyzikálními vlastnostmi.

Cílem mé bakalářské práce je porovnat dvě řezné kapaliny – řezný olej Paracut 32 a emulzi Paramul ERO – SB s koncentrací 3,33% a 6,66%.

# 1. Literární rešerše

## 1.1. Definice obrábění

Obrábění je technologický pochod, při němž dochází k vytvoření nových povrchů strojních součástí oddělováním částic materiálu. Toto odebrání se může realizovat různými způsoby, především odebráním určitého objemu materiálu řezným nástrojem ve formě třísky, jindy způsobem chemickým, elektrickým, proudem elektronů apod.

Pomocí ČSN 20 0010 je pojem “obrábění” definován takto:

Obrábění je část výrobního procesu, který je založen na využití energie a při kterém činností stroje, strojního vybavení a nástroje (tj. odebráním určitého objemu materiálu řezným nástrojem) vzniká obrobek žádaného tvaru, rozměrů a jakosti povrchu. [3]

## 1.2. Tvorba třísky

Materiál, který břit nástroje odřezává z obrobku se mění na třísku. Procesy, ke kterým dochází v oblasti tvorby třísky, jsou rozhodující pro dosažení kvalitního povrchu a jeho přesných rozměrů.

Vznik třísky je proces, který je doprovázen intenzivní plastickou deformací a třením, přičemž vzniká velké množství tepla. Vznikající tříska, která opouští čelo nástroje, se v důsledku těchto podmínek různým způsobem stáčí a získává nejružnější geometrické tvary. Tento mechanismus se nazývá utváření třísky. Tvar třísky je závislý na mnoha faktorech. Jsou to vlastnosti obráběného materiálu, jeho pevnost, houževnatost, struktura, řezné podmínky při obrábění, vlastnosti materiálu nástroje, zejména jeho geometrie, tvar břitu i součinitel tření na čele, ale také statické a dynamické vlastnosti obráběcího stroje. Z toho je zřejmé, že na mechanismus tvorby mají vliv všechny parametry soustavy stroj – nástroj – obrobek – přípravek, které ve své kombinaci rozhodují, zda vzniká krátká dělané dobře transportovatelná tříska nebo plynulá, případně smotaná tříska, která rychle zaplní prostor stroje a překázkou, jež znemožňuje další práci stroje. Vhodný tvar vznikající třísky lze docílit úpravou břitu nástroje, nejčastěji vytvoření osazení nebo žlábků na čele nástroje, tím se vytváří různé utvařeče třísky. Problematika utváření třísky se stala jednou z nejdůležitějších oblastí výzkumu procesu obrábění. Nevhodně utvářené třísky představují problémy v souvislosti s bezpečností práce při obrábění a jsou zásadním problémem při automatizaci výroby, protože mohou poškodit řezný nástroj, přípravek, případně i některé části obráběcího

stroje. Nevhodné utváření třísky může také velmi nepříznivě zhoršit drsnost obrobeného povrchu součásti tím, že odcházející tříska poškodí již obrobenou plochu.

Za určitých podmínek, zejména při obrábění houževnatých materiálů, ulpívá na čele řezného nástroje v blízkosti ostří tenká zpevněná vrstva kovu obrobku. Její vznik je způsoben adhezními silami a jedná se o tzv. nárůstek. Část nárůstku je relativně stabilní a v důsledku adhezních sil se pevně spojuje s čelem nástroje. Další část nárůstku trvale narůstá, ovšem v průběhu obráběcího procesu je neustále odtrhována třískou nebo obrobkem. Tato část nárůstku je nestabilní, vytváří se periodicky a účinky na proces obrábění jsou silně negativní. Části nárůstku zůstávají na obrobeném povrchu a nepříznivě ovlivňují drsnost povrchu i přesnost obrobené součásti. Další část nárůstku je odnášena třískou. Protože nárůstek má v důsledku zpevnění vyšší pevnost a tvrdost než obráběný materiál, dochází působením jeho odtržených částí ke zvýšenému opotřebování na čele nástroje. Občasné odtržení stabilní části nárůstku vede k dalšímu poškození břitu nástroje a v neposlední řadě také k rozkmitávání celého řezného nástroje. Vznikání nárůstku úzce souvisí s adhezními silami a velikostí součinitele tření. Součinitel tření se mění s teplotou tak, že z počátku s teplotou roste a po dosažení určitého maxima teploty začíná klesat. Omezit tvorbu nárůstku lze proto v podstatě dvojím způsobem. Jednak zvýšením řezné rychlosti, kdy dochází současně ke zvýšení teploty a snížením vlivu adhezních sil, nebo použitím řezné kapaliny, kdy se naopak teplota v místě řezu a současně vliv adhezních sil snižuje.

### **1.3. Tepelná bilance procesu obrábění**

Za tepelnou bilanci považujeme rozdělení tepla podle lokálních zdrojů vzniku a způsobů odvodu. Teplo se vyvíjí zejména v těchto oblastech:

$Q_{DI}$  - v důsledku deformace v oblasti primárních plastických deformací

$Q_{DII}$  – v oblasti sekundárních plastických deformací

$Q_{DIII}$  – v oblasti terciálních deformací

$Q_{TC}$  – tření třísky po čele nástroje

$Q_{TH}$  – tření třísky po hřbetě nástroje

Z těchto oblastí se realizuje jeho odvod třískou, nástrojem, obrobkem a do obklopujícího prostředí (obr.1).

Označí-li se uvedená tepla:

$Q_T$  – teplo pohlcené třískou

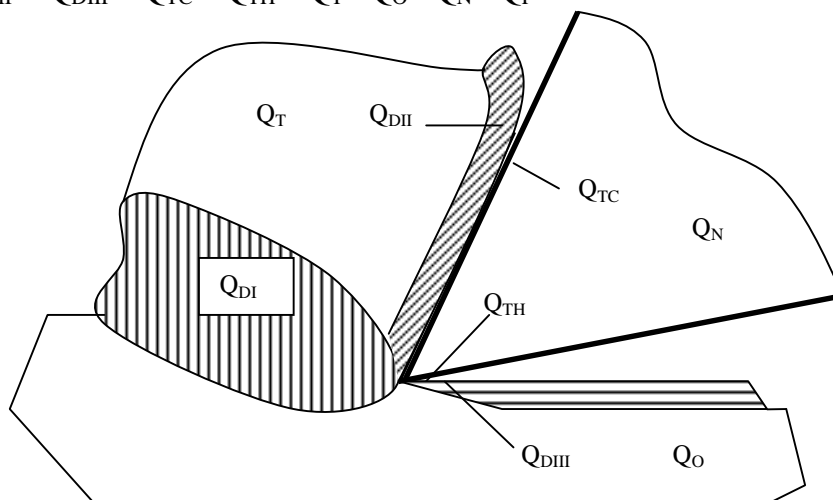
$Q_O$  – teplo, které přešlo do obrobku

$Q_N$  – teplo odvedené nástrojem

$Q_P$  – teplo pohlcené prostředím

pak lze napsat obecnou rovnici tepelné bilance takto:

$$Q_{DI} + Q_{DII} + Q_{DIII} + Q_{TC} + Q_{TH} = Q_T + Q_O + Q_N + Q_P$$



obr.1. Zdroje a odvod tepla při obrábění

Značný vliv na tepelnou bilanci při obrábění má řezná rychlost, kdy se vzrůstající řeznou rychlostí zpočátku rychle stoupá i množství tepla odvedeného třískou. Podobně se projevuje i zvýšení posuvu, pouze nárůst není tak prudký. [3]

#### 1.4. Opotřebení břitu

Během obrábění působí na břit řezného nástroje složitý systém fyzikálních a chemických procesů. Ty způsobí, že se změní jeho původní tvar, nástroj se opotřebuje a otupí. K opotřebení břitu dochází třemi základními způsoby: otěrem, plastickou deformací a křehkým lomem. Celkové opotřebení otěrem se skládá:

z abrazního otěru – který je způsoben částicemi v obráběném materiálu a třísce, jež jsou schopny vytvářet mikrorýhy zejména v měkčích složkách nástrojového materiálu ve stykových místech

z adhezního opotřebení – které je vyvoláno působením vysokých tlaků a teplot, které vedou k plastickým deformacím ve stykových místech a k vytváření tzv. mikrosvarů. Jejich průběžným vznikáním a roztrháváním dochází k poškozování břitu.

z difuzního opotřebení – které je typické pro nástroje ze slinutého karbidu, kde se při obrábění dosáhne disociační teploty prvků tvořících materiál nástroje.

z chemického otěru – jež vzniká vytvořením defektní vrstvy oxidací nebo vytvořením chemických sloučenin z prvků řezného prostředí a materiálu.

Opotřebení plastickou deformací nastává převážně při tepelném a všestranném tlakovém přetížení břitu. Tím jsou tenké povrchové vrstvy uvedeny do plastického stavu a posléze do pohybu. Tento případ lze charakterizovat, jako pomalé přemísťování monomolekulárních vrstev materiálu nástroje.

Opotřebení břitu nástroje křehkým lomem vzniká při překročení pevnosti v ohybu nástrojového materiálu v určitém místě břitu.

Velikost opotřebení nástroje je důležitou veličinou pro posouzení vhodnosti řezných podmínek pro různé druhy obrábění. Měření opotřebení je také jednou z možností, jak posuzovat vhodnost použití řezné kapaliny a jak hodnotit vliv přísad přidávaných do řezných olejů nebo emulzí. [3]

### **1.5.Vliv řezných kapalin na proces obrábění**

Základní funkce řezných kapalin při obrábění se projevuje v jejich chladicím a mazacím účinku.

Chladicí účinek řezných kapalin je nejvíce patrný při chlazení vhodnými roztoky a emulzemi. Řezná kapalina snižuje teplotu obrobku, nástroje i třísky tím, že odvádí teplo z řezné oblasti. Tato schopnost řezné kapaliny odvést určité množství tepla závisí na jejím výparném teple a na rychlosti odpařování. Stejně důležitou hodnotou pro posouzení vhodnosti použité řezné kapaliny je také její tepelná vodivost a specifické teplo. Schopnost řezné kapaliny odvést určité množství tepla z oblasti řezání je však dána nejen jejími termodynamickými vlastnostmi, ale i fyzikálním a chemickým účinkem kapaliny na obráběný materiál, jakož i provozními podmínkami.

Zvětšení chladicího účinku lze dosáhnout také zvýšením tlaku kapaliny přiváděné do místa řezu. Fyzikálně chemický účinek řezných kapalin se projevuje v podstatě mazacím účinkem. Tento účinek je určován především druhem a obsahem tzv. povrchově aktivních látek. Mazací účinek přispívá především ke zmenšení tření na čele i na hřbetě nástroje. Některé z povrchově aktivních látek mohou však působit i na vnitřní stranu materiálu deformovaného před postupujícím nástrojem, takže mohou přispět i ke změně fyzikální povahy obráběného materiálu a ovlivnit jeho plastické deformování. Povrchově aktivní látky, které jsou v řezné kapalině přiváděny do místa řezu, vytvářejí na obrobku a na nástroji mezní vrstvu, která představuje přechodové pásmo mezi prvky řezného procesu a okolní atmosférou. Podstata jejich účinku spočívá v tom, že molekuly aktivních látek, které se vyznačují příbuzností ke kovu obrobku, pevně ulpívají na povrchu obrobku. Vzniklá vrstva pak představuje základ, na kterém se uchyť i molekuly neaktivních látek. Tato neaktivní část

vytvoří pohyblivou vrstvičku, která výrazným způsobem zmenšuje tření. Uvedené účinky se objevují také v oblasti řezání řezného nástroje. Tenká vrstva maziva je přichycena k povrchové vrstvě nástroje a neodstraňuje se při tření, takže zabraňuje přímému styku třecích ploch, případně navařování materiálu třísky na čelo nástroje. Zároveň se snižuje také vnitřní tření, což má za následek zmenšení stupně deformace obráběného materiálu a zmenšení nárůstku. Tento mazací účinek se projevuje převážně při nižších řezných rychlostech a nízkých teplotách a tlacích na břitu nástroje.

I přes značné tlaky na čelo nástroje, proniká řezná kapalina do oblasti tvorby třísky. Tomu napomáhají různé okolnosti. Pokud při řezání vzniká nestabilní nárůstek, pak kapalina proniká do prostoru, odkud byla část nárůstku odtržena. Takto vzniklý prostor není okamžitě zaplněn deformovaným materiálem, a tak je sem nasávána řezná kapalina. Při obrábění vyššími rychlostmi a při vyšších teplotách se do oblasti řezání nenasává přímo řezná kapalina, ale její páry. Tyto páry pronikají k čelu nástroje mnohem snáze a následně tak dochází k vzájemnému chemickému působení par řezné kapaliny a materiálu obrobku v povrchové vrstvě. Na povrchu nástroje, obrobku a třísky se tak vytvářejí tenké vrstvy chemických látek, které zastávají úlohu pevného maziva.

Řezné kapaliny snižují teplotu v místě řezání při zachování všech řezných podmínek, a proto je jejich používání při obráběcím procesu velmi výhodné. [1]

## **2. Návrh metodiky zkoušek pro osové operace**

### **2.1. Metodika zkoušek**

Řezné kapaliny vyrábí řada výrobců v širokém sortimentu, ve kterém se lze pouze obtížně orientovat. Často proto může vzniknout potřeba porovnat řezné kapaliny, zejména jejich účinky na trvanlivost nástroje, na integritu povrchu obráběné součásti, energetickou náročnost procesu obrábění s ohledem na vynaložené náklady.

Pro vyhodnocení rozdílů v požadovaných vlastnostech řezných kapalin a pro výběr optimální kapaliny pro daný případ obrábění je výhodné účinek řezných kapalin vyzkoušet. Zkoušky řezných kapalin se obvykle provádějí zjišťováním jejich chemických a fyzikálních vlastností nebo sledováním jejich účinků v provozních podmínkách. Fyzikálně-chemické zkoušky prováděné v laboratořích podle obvykle normovaných postupů dávají pouze nepřímé informace o předpokládaném chování kapalin v provozu. Pro stanovení účinku řezné kapaliny na proces řezání je nejprůkaznější použití provozních zkoušek při soustružení,

vrtání apod. V tomto případě je nutné zvolit vhodná kritéria pro hodnocení zkoušek. Často se volí opotřebení břitu nástroje, síly a teploty při obrábění nebo parametry charakterizující stav povrchové vrstvy obrobku. Pro posouzení vlastností řezné kapaliny je nejvýhodnější provádět zkoušky přibližně za stejných podmínek, za kterých bude kapalina používána v provozu, ale s přísným dodržováním konstantních hodnot pro všechny řezné podmínky, kromě sledovaných proměnných. To však vyžaduje velké objemy kapalin pro zkoušky, obtížnou výměnu kapalin v obráběcím stroji a tedy značné náklady.

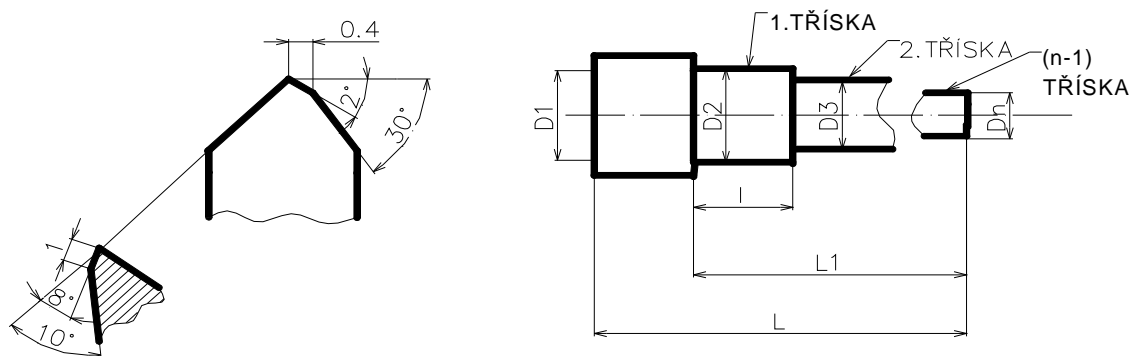
Vzhledem k vysokým časovým a finančním nárokům lze modifikovat tyto zkoušky tak, aby se výrazně snížily náklady na jejich realizaci a spolehlivost rozlišení vlastností kapalin byla zachována.

V rámci spolupráce s firmou PARAMO a.s. Pardubice byly na katedře obrábění a montáže Technické univerzity v Liberci navrženy a ověřeny dvě metody zkoušení řezných kapalin při soustružení, které vyhovují následujícím požadavkům:

- jednoduchá metodika zkoušek
- hodnocení kapalin podle více kritérií současně
- možnost provádět zkoušky u uživatelů řezných kapalin v průmyslových podnicích

### **Zkouška podélným soustružením**

Při zkoušce podélným soustružením se hodnotí následující veličiny: řezné síly respektive výkon při obrábění, drsnost povrchu zkušební součásti a opotřebení břitu nástroje. Pro materiál obrobku se doporučuje vybrat etalonovou ocel 12050.1. Pro provedení zkoušky se osvědčil pravý přímý ubírací nůž s úhlem nastavení  $\kappa_r = 60^\circ$ , úhlem hřbetu  $\alpha_0 = 8^\circ$ , úhlem čela  $\gamma_0 = 0^\circ$  a úhlem sklonu ostří  $\lambda_s = 0^\circ$ . Pro zajištění přesné geometrie a stálých vlastností břitové části nástroje se ostření hřbetu na čisto provede brousícím kotoučem z kubického nitridu boru. Pro zkoušky řezných kapalin s převažujícím mazacím účinkem je vhodné použít nástroj např. z rychlořezné oceli 19 824. Schematické znázornění břitové části nástroje a zkušební součásti je uvedeno na obr. 2.



Obr.2. Nástroj a obrobek pro zkoušku podélným soustružením

Řezné podmínky pro experimenty je nutné před zahájením vlastních zkoušek ověřit vzhledem k rozptylu obrobitelnosti materiálu a řezivosti nástroje. Aby byla zaručena spolehlivost naměřených hodnot, doporučuje se jednotlivé zkoušky opakovat 10x pro každý vzorek kapaliny (obrábění 10 obrobků) a výsledky statisticky zpracovat. Součást se obrábí podélným soustružením v několika vrstvách. Po obrobení každé vrstvy se na konci obrobku ponechá délka  $l$  pro měření drsnosti povrchu.

Každá zkušební součást se musí obrábět nově naostřeným nástrojem. V průběhu podélného soustružení se na každé součásti měří výkonové parametry procesu obrábění, tj. řezná síla a výkon. Na obrobených součástech se měří drsnost povrchu. Po kompletním opracování součásti se proměří opotřebení nástroje a posoudí vznik nárůstu.

Při zpracování měření se pro výsledné hodnoty s použitím statistických metod určí interval spolehlivosti a porovná se statistickou významností rozdílů naměřených hodnot s porovnávacím vzorkem řezné kapaliny. Je vhodné provést také srovnání s obráběním za sucha.

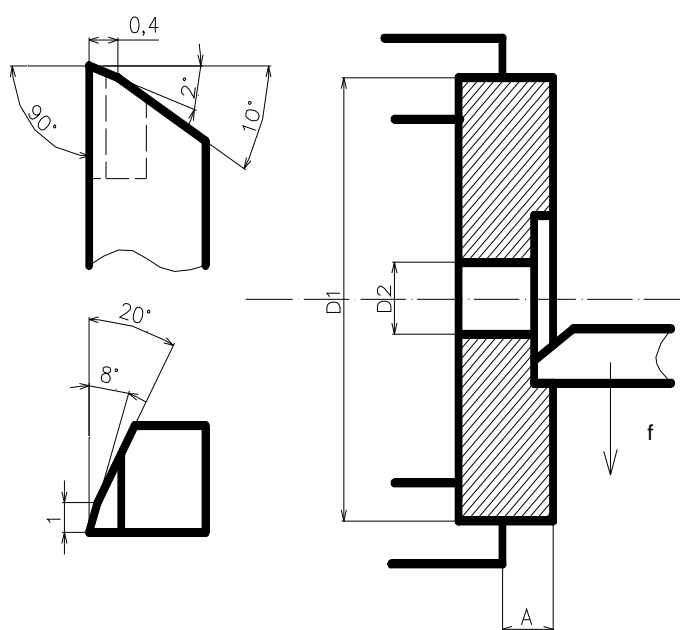
### Zkouška čelním soustružením

Při zkoušce čelním soustružením se hodnotí následující veličiny: drsnost povrchu zkušební součásti po obrábění a opotřebení břitu řezného nástroje. Pro materiál obrobku se doporučuje opět použít etalonovou ocel 12050.1. Pro tento experiment je vhodné zvolit součást většího průměru s vyvrtanou dírou v ose, jak je patrné z obr.2.

U této zkoušky lze předpokládat rychlejší proces opotřebení nástroje, a proto je možné v tomto případě použít jedinou součást pro více experimentů i pro různé vzorky řezné kapaliny. To je výhodné i z hlediska dodržení konstantní obrobitelnosti materiálu během zkoušky. Jako řezný nástroj se v tomto případě osvědčil pravý stranový ubírací nůž s úhlem

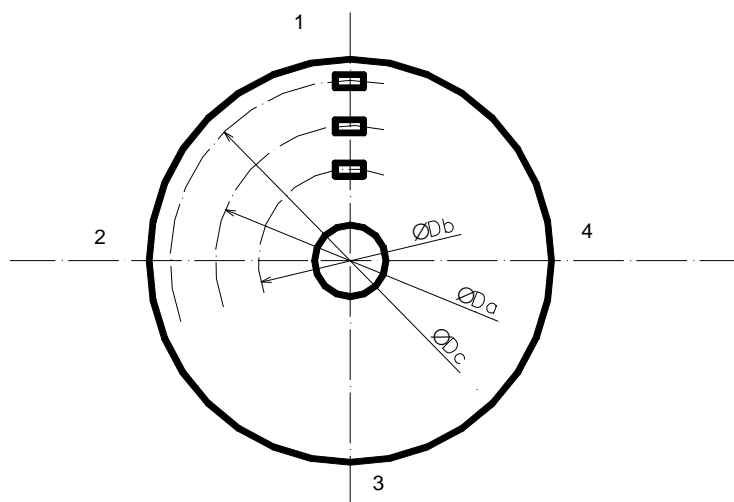


nastavení  $\kappa_r = 90^\circ$ , úhlem hřbetu  $\alpha_0 = 8^\circ$ , úhlem čela  $\gamma_0 = 0^\circ$  a úhlem sklonu ostří  $\lambda_s = 0^\circ$ . Pro zjištění geometrie a vlastností břitu je třeba hřbet nástroje také ostřit na čisto brousícím kotoučem z kubického nitridu boru. Pro experimenty je vhodné použít nástroj ze stejného nástrojového materiálu, jako pro zkoušku podélným soustružením. Schematické znázornění je uvedeno na obr.3.



Obr.3. Nástroj a obrobek pro zkoušku čelním soustružením

Pro zkoušku čelním soustružením je také třeba odzkoušet řezné podmínky v přípravné fázi před zahájením vlastních zkoušek. Z důvodu zpřesnění naměřených hodnot se doporučuje jednotlivé zkoušky opakovat 10x pro každý vzorek kapaliny.



Obr.4 Polohy snímače při měření drsnosti povrchu u zkoušky čelního

Pro každou zkoušku se použije nově naostřený nástroj. Po jejím dokončení se na obrobené součásti změří drsnost povrchu, a to na třech různých průměrech a na každém z těchto průměrů 4x. Schematické znázornění jednotlivých míst, kde se provádí měření drsnosti povrchu je uvedeno na obr.4.

Po obrábění každé vrstvy materiálu obrobku se na nástroji proměří jeho opotřebení a provede se kontrola vzniku nárůstku. Při vyhodnocování experimentů čelního soustružení se porovnávají změny drsností při zvolených řezných rychlostech dosažené při obrábění posuzovanými vzorky řezných kapalin a je vhodné provést také srovnání s drsností při obrábění za sucha. [5]

## 2.2 Měření sil a výkonu při obrábění

Pro měření sil a výkonu je vhodné použít metodu nepřímého měření řezných sil. Při tomto způsobu měření, se měří výkon obráběcího stroje a hlavní složka řezné síly se dopočítá.

Celkový výkon, potřebný pro odebrání třísky je dán součtem výkonu potřebného pro hlavní řezný pohyb, výkonu potřebného pro posuv a výkonu pro přísuv. Při podélném soustružení je přísuv roven nule a tím je poslední činitel výkonu také roven nule. Výkon potřebný pro posuv je v porovnání s výkonem pro hlavní řezný pohyb velmi malý, a proto je možné ho zanedbat. Tím se pak výpočet užitečného výkonu zjednoduší na vztah 1:

$$P = F_c \cdot v_c \quad (1)$$

Řeznou rychlost se při známém průměru součásti  $\varnothing D$  určí podle vztahu 2, přičemž je nutné znát ještě otáčky stroje  $n$  při obrábění:

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \quad (2)$$

Většina obráběcích strojů je poháněna třífázovým asynchronním motorem s kotvou nakrátko a výkon se tedy měří ve třífázové soustavě. Pro toto měření se používá speciální zařízení, tzv. měřicí kufr. Tento přístroj má pro měření zabudován sdružený wattmetr, který obsahuje systémy dvou wattmetrů s napět'ovými cívkami na společné ose. Výsledné natočení ukazatele wattmetru pak odpovídá celkovému výkonu soustavy. Užitečný výkon obrábění  $P$  určíme jako rozdíl příkonu stroje při obrábění a příkonu stroje při chodu naprázdno. [4]

### 2.3. Měření drsnosti povrchu obrobku

Drsností povrchu se rozumí nepatrné rozměrové nepravidelnosti povrchu, jako jsou vyvýšeniny, prohlubně, důlky, rýhy apod. Tyto nepravidelnosti vznikají jako stopy po břitech obráběcích nástrojů nebo po odlévání či tváření. Drsnost povrchu obrobku ovlivňuje její intenzitu opotřebení, vrubovou pevnost, schopnost odolávat účinkům koroze, vzhled a řadu dalších vlastností.

Měření drsnosti povrchu lze provádět přímým nebo nepřímým měřením profilu povrchu součásti při použití speciálních přístrojů. Nejrozšířenější jsou dotykové profilometry. Zařízení pro měření drsnosti povrchu profilovou metodou je tvořeno mechanickým snímačem, jehož snímací diamantový dotek je pomocí posuvové jednotky přístroje tažen po povrchu měřené součásti a z elektronické části. Pohyb snímače je zaznamenán induktivním měřicím systémem a přeměněn na elektronický signál, který se vyhodnocuje a zpracovává v elektronické části přístroje. Výstupem je pak číselná hodnota zvoleného parametru drsnosti povrchu nebo grafický záznam nerovností povrchu, případně zakreslením Abbottovy nosné křivky.

Charakteristiky drsnosti povrchu jsou specifikovány mezinárodní normou ČSN EN ISO, která stanovuje také jednotlivé parametry pro určování struktury povrchu profilovou metodou.

#### Parametry drsnosti povrchu

Nejstarším zároveň i nejpoužívanějším parametrem drsnosti povrch je průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu, která se označuje  $R_a$  a její velikost se udává v mikrometrech. Je definována jako aritmetický průměr absolutních hodnot souřadnic  $Z(x)$

v rozsahu základní délky (ČSN EN ISO 4287) podle vztahu 3. Hodnota souřadnice  $Z(x)$  je výška posuzovaného profilu v libovolné poloze na ose  $x$ , která je určena dráhou snímače.

$$R_a = \frac{1}{l} \int |Z(x)| dx \quad (3)$$

Další parametr, který charakterizuje drsnost povrchu, je parametr  $R_z$ . Tento parametr je podle normy ČSN EN ISO (z roku 1991) největší výškou profilu. Některé přístroje pro měření drsnosti povrchu měří dřívější parametr  $R_z$  (podle normy ISO 4287 z roku 1984), tzv. výšku nerovností profilu z deseti bodů  $R_z$  (tuto hodnotu také měří i přístroj použitý při tomto měření). Výška nerovností profilu z deseti bodů je střední hodnotou z absolutních hodnot výšek pěti nejvyšších výstupků profilu v rozsahu vyhodnocované délky. Výpočet pro určení nerovnosti povrchu je dán vztahem 4.

$$R_z = \frac{1}{5} \left( \sum_{i=1}^5 |z_{p_i}| + \sum_{i=1}^5 |z_{v_i}| \right) \quad (4)$$

Součet výšky  $Z_p$  nejvyššího výstupku profilu a hloubky  $Z_v$  nejnižší prohlubně v rozsahu vyhodnocované délky určuje celkovou výšku profilu  $R_t$  (ČSN EN ISO 4287), což je další parametr pro měření drsnosti povrchu. Jeho matematické vyjádření je dáno vztahem 5.

$$R_t = Z_{p_{\max}} + Z_{p_{\min}}$$

Nosný podíl Makro  $t_{pa}$  je dalším parametrem pro posouzení drsnosti povrchu obráběné součásti. Jedná se o hodnotu získanou z Abbott Firestenovy křivky materiálového poměru profilu. Tato hodnota představuje takovou hloubku pod úrovní vyšetřovaného povrchu, kde už bylo dosaženo 100% podílu materiálu obrobku. [2]

## 2.4. Měření opotřebení nástroje

Opotřebení břitu řezného nástroje je charakterizováno řadou parametrů. V průmyslové praxi se nejčastěji posuzuje střední šířka opotřebení na hřbetu řezného nástroje VB a maximální opotřebení hřbetu VN. Dále pak hloubka výmolu na čele řezného nástroje KT a také šířka výmolu, měřená od původního ostří KB. Parametry opotřebení lze měřit různými způsoby. Měření hodnot VB, VN, KT a KB se provádí na univerzálním mikroskopu při

vícenásobném zvětšení. Při měření je třeba ztotožnit rysku nitkového kříže s povrchkou bříty nástroje. Pro měření hloubky výmolu se používá tisícínového číselníkového úchylkoměru se safírovým dotykem.

Při měření opotřebení nástroje je vhodné zároveň sledovat, zda je na nástroji nárůstek vyhodnotit jeho velikost. Pro měření střední výšky nárůstu se také používá univerzální mikroskop.

## 2.5. Statistické zpracování experimentů

Při porovnávání vlastností a vhodnosti použití dvou řezných kapalin je nutné provést dostatečné množství opakovaných experimentů, aby se mezi nimi projevil a jednoznačně prokázal kvalitativní rozdíl. Nutnost provedení většího počtu měření se projeví zvláště v případech, kdy se neočekávají zásadní rozdíly mezi soubory naměřených hodnot.

Statistické zpracování naměřených hodnot se provádí pomocí matematických nástrojů. Konkrétně to jsou: aritmetický průměr, výběrová směrodatná odchylka a statistický interval spolehlivosti.

Aritmetický průměr se vypočítá, jako podíl součtu naměřených hodnot  $x_i$  z každého experimentu a počtu provedených měření podle vztahu 6.

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (6)$$

Výběrová směrodatná odchylka se určí, jako odmocnina ze součtu čtverců všech rozdílů mezi naměřenými hodnotami  $x_i$  z jednotlivých měření a aritmetického průměru  $\bar{x}$ , dělená počtem měření  $n - 1$  podle vztahu 7.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (7)$$

Statistický interval spolehlivosti je interval, ve kterém se sdanou pravděpodobností budou pohybovat hodnoty dalšího zkušebního testu. Statistický interval spolehlivosti je dán aritmetickým průměrem, ke kterému se přičte nebo odečte hodnota konfidenčního intervalu podle vztahu 8 a 9.

$$\bar{x}_{\max} = \bar{x} + t_{\alpha, n-1} \cdot \frac{s}{\sqrt{n-1}} \quad (8)$$

$$\bar{x}_{\min} = \bar{x} - t_{\alpha, n-1} \cdot \frac{s}{\sqrt{n-1}} \quad (9)$$

Hodnota kritického rozdělení  $t_{\alpha, n-1}$  se určí z tabulky pro požadovanou úroveň spolehlivosti. Tato hodnota závisí na kritické hodnotě  $\alpha$  daného rozdělení. [9]

### 3. Návrh rozsahu řezných podmínek

#### 3.1 Materiály použité při zkouškách

Pro porovnávání vlastností řezného oleje a řezné emulze byla využita zkouška obrábění podélným soustružením popsaná v odstavci 2.1..Zkoušky byly prováděny v prostorách laboratoří katedry obrábění a montáže Fakulty strojní TU v Liberci. Byl použit tyčový materiál 12050.1 o průměru  $D = 60\text{mm}$ , který byl nařezán na zkušební vzorky o délce 350mm. K obrábění byl dále použit nástrojový materiál 19 810.

#### 3.2. Přístroje a zařízení

Zkoušky byly provedeny na soustruhu SU50/1500. Měření výkonu stroje bylo naměřeno pomocí měřícího kufru QWII. Konstanta wattmetru byla pro všechny zkoušky nastavena na hodnotu 50. Výkony a síly byly určovány pro každou třísku při obrábění. Měření oleje (emulze) bylo prováděno v blízkosti vstupu kapaliny do chladicího systému a k měření byl použit rtuťový teploměr. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v jednotlivých protokolech měření. Před zahájením měření bylo provedeno opakované měření průtočného množství kapaliny a tyto hodnoty jsou taktéž uvedeny v protokolech měření.

Pro měření drsnosti povrchu byl použit dotykový profilometr HOMMEL TESTER T500. Parametry drsnosti povrchu byly pro každý experiment stanoveny, jako aritmetický průměr ze tří měření, které byly prováděny na třech místech, vzájemně pootočených o  $120^\circ$  na obvodu součásti. Na jednom místě bylo provedeno měření dvakrát, a to z důvodu určení nosného podílu MAKRO  $t_{pa}$  100%.

Měření opotřebení nástroje bylo prováděno na přístroji UNIVERSAL-MEßMIKROSKOP, který byl dovybaven lineárním odměřovačem ILC 101/202. Hodnoty opotřebení byly také stanoveny, jako aritmetický průměr ze tří měření na mikroskopu, na kterém bylo z důvodu přesného měření nastaveno patnáctinásobné zvětšení. [11]

### 3.3. Návrh řezných podmínek

Při navrhování řezných podmínek bylo využito zkušeností z již provedených zkoušek řezných kapalin na TU. Při těchto zkouškách, kdy se postupně snižovala řezná rychlost, posuv a hloubka záběru byly nakonec stanoveny hodnoty řezných podmínek, které se ukázaly, jako optimální pro zkoušky řezných kapalin podélným soustružením. Řezné rychlosti, které zásadním způsobem ovlivňují teplotu v místě řezání byly postupně snižovány až na hodnoty okolo  $30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ . Současně byla také stanovena hloubka záběru na  $a_p = 2 \text{ mm}$  a posuv na  $f = 0,2 \text{ mm/ot}$ . U všech zkušebních součástí byla před zahájením zkoušek odstraněna zkorodovaná povrchová vrstva, a to jiným nástrojem, než který byl použit pro zkoušku. [11]

### 3.3. Zkoušené řezné kapaliny

#### 3.3.1. Paracut 32

Paracut 32 je ropný olej, který obsahuje přísady pro zlepšení řezného účinku. Neobsahuje chlor, PCB ani jiné toxikologicky významné složky. Je použitelný jak pro operace s přesně definovanou geometrií nástroje, tak i pro broušení. Je možné ho použít jako multifunkční olej pro mazání obráběcích strojů a do náplní hydrostatických mechanismů tam, kde se používá jako olej řezný. Je vhodný pro obrábění železných i neželezných kovů. [7]

Typické parametry	
viskozita při 40°C	32 mm <sup>2</sup> /s
bod tuhnutí	-10°C
bod vzplanutí	200°C
popel	1,5%
korozivní zkouška na oceli při 20°C/24h	vyhovuje
korozivní zkouška na mosazi při 80°C/3h	vyhovuje

### 3.3.2. Paramul ERO – SB

Emulgační ropný olej Paramul ERO – SB je tvořen směsí olejových frakcí, emulgátorů, inhibitorů koroze a biocidů proti předčasnému mikrobiálnímu rozkladu. S vodou tvoří stálou mléčnou emulzi. Používá se jako chladicí kapalina pro obrábění s přesně definovanou geometrií nástroje i pro broušení. Doporučené koncentrace jsou 3-8%. Je vhodná pro obrábění železných i neželezných kovů.

Typické parametry	
viskozita při 40°C	120 mm <sup>2</sup> /s
popel	1,2%
korozivní zkouška Herbest-test 2% emulze v dest. vodě 20°C	negativní

Při provádění zkoušek bylo použito dvou koncentrací emulze Paramul ERO – SB, a to 3,33% a 6,66%. Z ekonomických důvodů bylo měření pro každou koncentraci provedeno pouze 5x.  
[7]

## 4. Provedení experimentů pro vybrané vzorky řezných kapalin

### 4.1 Zpracování protokolů měření

V následujících protokolech jsou zahrnuty veškeré hodnoty získané při zkouškách. U každého protokolu jsou uvedeny řezné podmínky, název řezné kapaliny, údaje o měření výkonu a řezné síly při obrábění jednotlivých vrstev součásti, hodnoty drsnosti povrchu a opotřebení nástroje. Ve spodní části protokolu jsou údaje o tvaru vznikajících třísek. Přílohu ke každé tabulce tvoří tři protokoly z měření drsnosti povrchu.

### 4.2. Protokoly měření



# **Protokol měření č.1**

## Specifikace a podmínky obrábění

nástroj	obrobek	použitá řezná kapalina	teplota řezné kapaliny a průtočné množství
<b>RO 19 810</b>	<b>ocel 12 050.1</b>	<b>Paracut 32</b>	<b>18°C                      2,9 l.min<sup>-1</sup></b>
výchozí průměr obrobku D [ mm ] <b>56</b>	hloubka záběru a <sub>p</sub> [ mm ] <b>2</b>	posuv f [ mm/ot ] <b>0,2</b>	otáčky n [ ot/min ] <b>180</b>

## Měření výkonu a síly

vrstva	průměr obrob. D [ mm ]	chod napr. d <sub>0</sub> [ 1 ]	obráb. d <sub>1</sub> [ 1 ]	dílky výkon d [ 1 ]	konst. wattm. k [ 1 ]	užit. výkon P [ W ]	řezná rychl. v <sub>c</sub> [ m.min <sup>-1</sup> ]	řezná síla F <sub>c</sub> [ N ]
1	56	27	42	15	50	750	31,67	1 421,0
2	52	27	37	10	50	500	29,41	1 020,2
3	48	27	36	9	50	450	27,14	994,7
4	44	27	35	8	50	400	24,88	964,6
5	40	27	34	7	50	350	22,62	928,4

## Měření obrobku a nástroje

Drsnost povrchu obrobku						Opotřebení nástroje					Nárůst.
průměr obrob. D [ mm ]	měř. č. [ 1 ]	R-profil			P-profil nosný podíl MAKRO t <sub>pa</sub> 100% [ mm ]	měř. č. [ 1 ]	na hřbetu		na čele		střední výška [ mm ]
		pr. aritm. úchylka pos.pov. Ra [ mm ]	výška nerovn. z 10 b. Rz [ mm ]	celková výška profilu Rt [ mm ]			opotřeb. na hřbetě VB [ mm ]	opotř. (rýha na hřb.) VN [ mm ]	hloubka výmolu KT [ mm ]	šířka výmolu (od ostří) KB [ mm ]	
52	1	2,8	20,5	30,6	-	1	0,288	0,372	0,061	1,469	0,220
	2	3,5	29,2	61,4	-	2	0,293	0,363	0,067	1,464	0,221
	3	3,8	26,7	36,9	36,94	3	0,294	0,370	0,067	1,466	0,218
	aritm. pr.	3,4	25,5	43,0		aritm. pr.	0,292	0,368	0,065	1,466	0,220
44	1	8,8	57,5	103,4	-	Poznámky k měření : Ra, Rt - dle ČSN ISO 4287 z roku 1999 Rz - dle ISO 4287 z roku 1984					
	2	7,1	53,9	70,6	-						
	3	7,4	53,6	77,8	51,20						
	aritm. pr.	7,8	55,0	83,9							
36	1	9,2	64,6	86,7	-						
	2	9,9	61,6	86,4	-						
	3	10,5	64,8	129,0	93,64						
	aritm. pr.	9,9	63,7	100,7							

## Další záznamy

1. vrstva - tříška	vlnitá šroubovitá krátká, po 1/4 stužková dlouhá, po 1/4 vlnitá šroubovitá krátká
2. vrstva - tříška	obloukovitá dělená
3. vrstva - tříška	obloukovitá dělená
4. vrstva - tříška	obloukovitá dělená
5. vrstva - tříška	obloukovitá dělená

## Měřicí protokol č.2

### Specifikace a podmínky obrábění

nástroj	obrobek	použitá řezná kapalina	teplota řezné kapaliny a průtočné množství
<b>RO 19 810</b>	<b>ocel 12 050.1</b>	<b>Paracut 32</b>	<b>25°C      3,9 l.min<sup>-1</sup></b>
výchozí průměr obrobku D [ mm ] <b>56</b>	hloubka záběru a <sub>p</sub> [ mm ] <b>2</b>	posuv f [ mm/ot ] <b>0,2</b>	otáčky n [ ot/min ] <b>180</b>

### Měření výkonu a síly

vrstva	průměr obrob. D [ mm ]	chod napr. d <sub>0</sub> [ 1 ]	obráb. d <sub>1</sub> [ 1 ]	dílky výkon d [ 1 ]	konst. wattm. k [ 1 ]	užit. výkon P [ W ]	řezná rychl. v <sub>c</sub> [ m.min <sup>-1</sup> ]	řezná síla F <sub>c</sub> [ N ]
1	56	26	40	14	50	700	31,67	1 326,3
2	52	25	37	12	50	600	29,41	1 224,3
3	48	25	34	9	50	450	27,14	994,7
4	44	25	33	8	50	400	24,88	964,6
5	40	25	33	8	50	400	22,62	1 061,0

### Měření obrobku a nástroje

Drsnost povrchu obrobku						Opotřeben1 nástroje					Nárůst.
průměr obrob.	měř. č.	R-profil			P-profil	měř. č.	na hřbetu		na čele		střední výška
		pr. aritm. úchylka pos.pov.	výška nerovn. z 10 b.	celková výška profilu	nosný podíl MAKRO t <sub>pa</sub> 100%		opotřeb. na hřbetě	opotř. (rýha na hřb.)	hloubka výmolu	šířka výmolu (od ostří)	
D [ mm ]	[ 1 ]	Ra [ mm ]	Rz [ mm ]	Rt [ mm ]	[ mm ]	[ 1 ]	VB [ mm ]	VN [ mm ]	KT [ mm ]	KB [ mm ]	[ mm ]
52	1	8,1	45,1	59,1	-	1	0,181	0,386	0,036	1,402	0,232
	2	6,1	32,2	37,0	-	2	0,180	0,394	0,046	1,398	0,232
	3	9,3	55,0	69,9	42,60	3	0,186	0,387	0,043	1,393	0,233
	aritm. pr.	7,8	44,1	55,3		aritm. pr.	0,182	0,389	0,042	1,398	0,232
44	1	7,8	50,8	68,5	-	Poznámky k měření : Ra, Rt - dle ČSN ISO 4287 z roku 1999 Rz - dle ISO 4287 z roku 1984					
	2	8,2	49,7	70,0	-						
	3	9,3	55,9	97,3	78,24						
	aritm. pr.	8,4	52,1	78,6							
36	1	4,9	35,5	49,2	-						
	2	5,4	34,7	52,9	-						
	3	5,4	32,0	40,9	48,28						
	aritm. pr.	5,2	34,1	47,7							

### Další záznamy

1. vrstva - tříška	vlnitá šroubovitá dlouhá, po 1/4 stužková dlouhá, po 1/4 vlnitá šroubovitá dlouhá
2. vrstva - tříška	vlnitá šroubovitá krátká, po 1/3 obloukovitá dělená
3. vrstva - tříška	obloukovitá dělená
4. vrstva - tříška	obloukovitá dělená
5. vrstva - tříška	obloukovitá dělená

### Měřicí protokol č.3

Specifikace a podmínky obrábění

nástroj	obrobek	použitá řezná kapalina	teplota řezné kapaliny a průtočné množství
<b>RO 19 810</b>	<b>ocel 12 050.1</b>	<b>Paracut 32</b>	<b>25°C      3,9 l.min<sup>-1</sup></b>
výchozí průměr obrobku D [ mm ] <b>56</b>	hloubka záběru a <sub>p</sub> [ mm ] <b>2</b>	posuv f [ mm/ot ] <b>0,2</b>	otáčky n [ ot/min ] <b>180</b>

Měření výkonu a síly

vrstva	průměr obrob. D [ mm ]	chod napr. d <sub>0</sub> [ 1 ]	obráb. d <sub>1</sub> [ 1 ]	dílky výkon d [ 1 ]	konst. wattm. k [ 1 ]	užit. výkon P [ W ]	řezná rychl. v <sub>c</sub> [ m.min <sup>-1</sup> ]	řezná síla F <sub>c</sub> [ N ]
1	56	25	41	16	50	800	31,67	1 515,8
2	52	25	37	12	50	600	29,41	1 224,3
3	48	25	34	9	50	450	27,14	994,7
4	44	23	33	10	50	500	24,88	1 205,7
5	40	23	32	9	50	450	22,62	1 193,7

Měření obrobku a nástroje

Drsnost povrchu obrobku						Opotřeben1 nástroje					Nárůst.
průměr obrob.	měř. č.	R-profil			P-profil	měř. č.	na hřbetu		na čele		střední výška
		pr. aritm. úchylka pos.pov.	výška nerovn. z 10 b.	celková výška profilu	nosný podíl MAKRO t <sub>pa</sub> 100%		opotřeb. na hřbetě	opotř. (rýha na hřb.)	hloubka výmolu	šířka výmolu (od ostří)	
D [ mm ]	[ 1 ]	Ra [ mm ]	Rz [ mm ]	Rt [ mm ]	[ mm ]	[ 1 ]	VB [ mm ]	VN [ mm ]	KT [ mm ]	KB [ mm ]	[ mm ]
52	1	5,8	36,6	49,4	-	1	0,158	0,309	0,042	1,481	0,227
	2	5,6	37,2	45,6	-	2	0,157	0,305	0,043	1,492	0,222
	3	5,2	34,2	40,4	39,52	3	0,152	0,309	0,043	1,487	0,228
	aritm. pr.	5,5	36,0	45,1		aritm. pr.	0,156	0,308	0,043	1,487	0,226
44	1	5,8	40,6	65,2	-	Poznámky k měření : Ra, Rt - dle ČSN ISO 4287 z roku 1999 Rz - dle ISO 4287 z roku 1984					
	2	5,6	38,1	53,6	-						
	3	4,4	31,4	43,8	45,76						
	aritm. pr.	5,3	36,7	54,2							
36	1	4,9	32,3	40,4	-						
	2	5,9	40,6	55,2	-						
	3	5,3	36,3	52,6	45,98						
	aritm. pr.	5,4	36,4	49,4							

Další záznamy

1. vrstva - tříška	vlnitá šroubovitá dlouhá, po 1/4 stužková dlouhá
2. vrstva - tříška	obloukovitá dělená
3. vrstva - tříška	obloukovitá dělená
4. vrstva - tříška	obloukovitá dělená
5. vrstva - tříška	obloukovitá dělená

## Měřicí protokol č.4

### Specifikace a podmínky obrábění

nástroj	obrobek	použitá řezná kapalina	teplota řezné kapaliny a průtočné množství
<b>RO 19 810</b>	<b>ocel 12 050.1</b>	<b>Paracut 32</b>	<b>27°C      3,9 l.min<sup>-1</sup></b>
výchozí průměr obrobku D [ mm ] <b>56</b>	hloubka záběru a <sub>p</sub> [ mm ] <b>2</b>	posuv f [ mm/ot ] <b>0,2</b>	otáčky n [ ot/min ] <b>180</b>

### Měření výkonu a síly

vrstva	průměr obrob. D [ mm ]	chod napr. d <sub>0</sub> [ 1 ]	obráb. d <sub>1</sub> [ 1 ]	dílky výkon d [ 1 ]	konst. wattm. k [ 1 ]	užit. výkon P [ W ]	řezná rychl. v <sub>c</sub> [ m.min <sup>-1</sup> ]	řezná síla F <sub>c</sub> [ N ]
1	56	25	40	15	50	750	31,67	1 421,0
2	52	25	37	12	50	600	29,41	1 224,3
3	48	25	34	9	50	450	27,14	994,7
4	44	25	33	8	50	400	24,88	964,6
5	40	25	32	7	50	350	22,62	928,4

### Měření obrobku a nástroje

Drsnost povrchu obrobku						Opotřebení nástroje					Nárůst.
průměr obrob. D [ mm ]	měř. č. [ 1 ]	R-profil			P-profil nosný podíl MAKRO t <sub>pa</sub> 100% [ mm ]	měř. č. [ 1 ]	na hřbetu		na čele		střední výška [ mm ]
		pr. aritm. úchylka pos.pov. Ra [ mm ]	výška nerovn. z 10 b. Rz [ mm ]	celková výška profilu Rt [ mm ]			opotřeb. na hřbetě VB [ mm ]	opotř. (rýha na hřb.) VN [ mm ]	hloubka výmolu KT [ mm ]	šířka výmolu (od ostří) KB [ mm ]	
52	1	4,3	29,6	32,9	-	1	0,157	0,316	0,050	1,487	0,186
	2	4,7	32,7	40,6	-	2	0,164	0,312	0,051	1,485	0,191
	3	5,6	34,5	45,4	40,21	3	0,158	0,313	0,046	1,483	0,192
	aritm. pr.	4,9	32,3	39,6		aritm. pr.	0,160	0,314	0,049	1,485	0,190
44	1	4,0	32,0	45,2	-	Poznámky k měření : Ra, Rt - dle ČSN ISO 4287 z roku 1999 Rz - dle ISO 4287 z roku 1984					
	2	4,0	32,2	41,3	-						
	3	4,3	27,8	35,2	38,48						
	aritm. pr.	4,1	30,7	40,6							
36	1	5,7	36,5	55,8	-						
	2	4,8	31,8	40,0	-						
	3	4,0	30,4	43,2	43,16						
	aritm. pr.	4,8	32,9	46,3							

### Další záznamy

1. vrstva - tříška	vlnitá šroubovitá dlouhá, po 1/ stužková dlouhá
2. vrstva - tříška	vlnitá šroubovitá krátká
3. vrstva - tříška	obloukovitá dělená
4. vrstva - tříška	obloukovitá dělená
5. vrstva - tříška	obloukovitá dělená

## Měřicí protokol č.5

### Specifikace a podmínky obrábění

nástroj	obrobek	použitá řezná kapalina	teplota řezné kapaliny a průtočné množství
<b>RO 19 810</b>	<b>ocel 12 050.1</b>	<b>Paracut 32</b>	<b>27°C      3,9 l.min<sup>-1</sup></b>
výchozí průměr obrobku D [ mm ] <b>56</b>	hloubka záběru a <sub>p</sub> [ mm ] <b>2</b>	posuv f [ mm/ot ] <b>0,2</b>	otáčky n [ ot/min ] <b>180</b>

### Měření výkonu a síly

vrstva	průměr obrob. D [ mm ]	chod napr. d <sub>0</sub> [ mm ]	obráb. d <sub>1</sub> [ mm ]	dílky výkon d [ mm ]	konst. wattm. k [ mm ]	užit. výkon P [ W ]	řezná rychl. v <sub>c</sub> [ m.min <sup>-1</sup> ]	řezná síla F <sub>c</sub> [ N ]
1	56	23	40	17	50	850	31,67	1 610,5
2	52	23	36	13	50	650	29,41	1 326,3
3	48	23	33	10	50	500	27,14	1 105,2
4	44	24	32	8	50	400	24,88	964,6
5	40	24	31	7	50	350	22,62	928,4

### Měření obrobku a nástroje

Drsnost povrchu obrobku						Opotřebení nástroje					Nárůst.
průměr obrob. D [ mm ]	měř. č. [ 1 ]	R-profil			P-profil nosný podíl MAKRO t <sub>pa</sub> 100% [ mm ]	měř. č. [ 1 ]	na hřbetu		na čele		střední výška [ mm ]
		pr. aritm. úchylka pos.pov. Ra [ mm ]	výška nerovn. z 10 b. Rz [ mm ]	celková výška profilu Rt [ mm ]			opotřeb. na hřbetě VB [ mm ]	opotř. (rýha na hřb.) VN [ mm ]	hloubka výmolu KT [ mm ]	šířka výmolu (od ostří) KB [ mm ]	
52	1	5,8	42,8	65,4	-	1	0,155	0,209	0,054	1,484	0,220
	2	5,4	29,1	73,1	-	2	0,157	0,210	0,053	1,485	0,225
	3	4,1	29,5	38,9	40,36	3	0,154	0,211	0,054	1,480	0,223
	aritm. pr.	5,1	33,8	59,1		aritm. pr.	0,155	0,210	0,054	1,483	0,223
44	1	6,5	41,1	48,4	-	Poznámky k měření : Ra, Rt - dle ČSN ISO 4287 z roku 1999 Rz - dle ISO 4287 z roku 1984					
	2	6,4	44,6	63,4	-						
	3	6,0	44,4	59,1	46,40						
	aritm. pr.	6,3	43,4	57,0							
36	1	5,8	34,2	44,0	-						
	2	4,9	30,8	50,2	-						
	3	4,2	30,6	43,6	43,40						
	aritm. pr.	5,0	31,9	45,9							

### Další záznamy

1. vrstva - tříška	vlnitá šroubovitá krátká, po 1/4 stužková dlouhá
2. vrstva - tříška	obloukovitá dělená
3. vrstva - tříška	obloukovitá dělená
4. vrstva - tříška	obloukovitá dělená
5. vrstva - tříška	obloukovitá dělená

## Měřicí protokol č.6

### Specifikace a podmínky obrábění

nástroj	obrobek	použitá řezná kapalina	teplota řezné kapaliny a průtočné množství
<b>RO 19 810</b>	<b>ocel 12 050.1</b>	<b>Paracut 32</b>	<b>28°C      3,9 l.min<sup>-1</sup></b>
výchozí průměr obrobku D [ mm ] <b>56</b>	hloubka záběru a <sub>p</sub> [ mm ] <b>2</b>	posuv f [ mm/ot ] <b>0,2</b>	otáčky n [ ot/min ] <b>180</b>

### Měření výkonu a síly

vrstva	průměr obrob. D [ mm ]	chod napr. d <sub>0</sub> [ mm ]	obráb. d <sub>1</sub> [ mm ]	dílky výkon d [ mm ]	konst. wattm. k [ mm ]	užit. výkon P [ W ]	řezná rychl. v <sub>c</sub> [ m.min <sup>-1</sup> ]	řezná síla F <sub>c</sub> [ N ]
1	56	23	40	17	50	850	31,67	1 610,5
2	52	24	36	12	50	600	29,41	1 224,3
3	48	24	32	8	50	400	27,14	884,2
4	44	24	32	8	50	400	24,88	964,6
5	40	23	31	8	50	400	22,62	1 061,0

### Měření obrobku a nástroje

Drsnost povrchu obrobku						Opotřebení nástroje					Nárůst.
průměr obrob. D [ mm ]	měř. č. [ 1 ]	R-profil			P-profil nosný podíl MAKRO t <sub>pa</sub> 100% [ mm ]	měř. č. [ 1 ]	na hřbetu		na čele		střední výška [ mm ]
		pr. aritm. úchylka pos.pov. Ra [ mm ]	výška nerovn. z 10 b. Rz [ mm ]	celková výška profilu Rt [ mm ]			opotřeb. na hřbetě VB [ mm ]	opotř. (rýha na hřb.) VN [ mm ]	hloubka výmolu KT [ mm ]	šířka výmolu (od ostří) KB [ mm ]	
52	1	6,3	38,8	47,6	-	1	0,244	0,273	0,047	1,593	0,264
	2	6,6	51,8	63,4	-	2	0,245	0,273	0,048	1,589	0,267
	3	5,9	36,9	47,0	40,74	3	0,240	0,275	0,048	1,591	0,266
	aritm. pr.	6,3	42,5	52,7		aritm. pr.	0,243	0,274	0,048	1,591	0,266
44	1	8,9	56,1	76,0	-	Poznámky k měření : Ra, Rt - dle ČSN ISO 4287 z roku 1999 Rz - dle ISO 4287 z roku 1984					
	2	7,6	47,6	69,2	-						
	3	6,6	61,0	96,2	66,48						
	aritm. pr.	7,7	54,9	80,5							
36	1	7,9	46,9	61,8	-						
	2	8,1	54,1	68,3	-						
	3	8,3	47,2	54,4	47,00						
	aritm. pr.	8,1	49,4	61,5							

### Další záznamy

1. vrstva - tříška	vlnitá šroubovitá krátká, po 1/4 stužková dlouhá, po 1/4 vlnitá šroubovitá krátká
2. vrstva - tříška	vlnitá krátká, po 1/4 obloukovitá dělená
3. vrstva - tříška	obloukovitá dělená
4. vrstva - tříška	obloukovitá dělená
5. vrstva - tříška	obloukovitá dělená

## Měřicí protokol č.7

### Specifikace a podmínky obrábění

nástroj	obrobek	použitá řezná kapalina	teplota řezné kapaliny a průtočné množství
<b>RO 19 810</b>	<b>ocel 12 050.1</b>	<b>Paracut 32</b>	<b>18°C      2,9 l.min<sup>-1</sup></b>
výchozí průměr obrobku D [ mm ] <b>56</b>	hloubka záběru a <sub>p</sub> [ mm ] <b>2</b>	posuv f [ mm/ot ] <b>0,2</b>	otáčky n [ ot/min ] <b>180</b>

### Měření výkonu a síly

vrstva	průměr obrob. D [ mm ]	chod napr. d <sub>0</sub> [ 1 ]	obráb. d <sub>1</sub> [ 1 ]	dílky výkon d [ 1 ]	konst. wattm. k [ 1 ]	užit. výkon P [ W ]	řezná rychl. v <sub>c</sub> [ m.min <sup>-1</sup> ]	řezná síla F <sub>c</sub> [ N ]
1	56	25	41	16	50	800	31,67	1 515,8
2	52	25	34	9	50	450	29,41	918,2
3	48	25	33	8	50	400	27,14	884,2
4	44	24	33	9	50	450	24,88	1 085,1
5	40	24	32	8	50	400	22,62	1 061,0

### Měření obrobku a nástroje

Drsnost povrchu obrobku						Opotřebení nástroje					Nárůst.
průměr obrob. D [ mm ]	měř. č. [ 1 ]	R-profil			P-profil nosný podíl MAKRO t <sub>pa</sub> 100% [ mm ]	měř. č. [ 1 ]	na hřbetu		na čele		střední výška [ mm ]
		pr. aritm. úchylka pos.pov. Ra [ mm ]	výška nerovn. z 10 b. Rz [ mm ]	celková výška profilu Rt [ mm ]			opotřeb. na hřbetě VB [ mm ]	opotř. (rýha na hřb.) VN [ mm ]	hloubka výmolu KT [ mm ]	šířka výmolu (od ostří) KB [ mm ]	
52	1	5,4	35,7	57,0	-	1	0,129	0,250	0,029	1,475	0,276
	2	4,5	33,4	44,0	-	2	0,133	0,249	0,028	1,473	0,279
	3	5,9	42,4	65,0	40,76	3	0,135	0,252	0,029	1,475	0,278
	aritm. pr.	5,3	37,2	55,3		aritm. pr.	0,132	0,250	0,029	1,474	0,278
44	1	7,3	52,3	92,0	-	Poznámky k měření : Ra, Rt - dle ČSN ISO 4287 z roku 1999 Rz - dle ISO 4287 z roku 1984					
	2	8,2	52,1	78,1	-						
	3	7,4	44,9	62,7	53,04						
	aritm. pr.	7,6	49,8	77,6							
36	1	6,9	39,8	65,8	-						
	2	6,0	39,0	50,3	-						
	3	6,8	45,6	80,7	68,96						
	aritm. pr.	6,6	41,5	65,6							

### Další záznamy

1. vrstva - tříška	vlnitá šroubovitá dlouhá
2. vrstva - tříška	obloukovitá dělená
3. vrstva - tříška	obloukovitá dělená
4. vrstva - tříška	obloukovitá dělená
5. vrstva - tříška	obloukovitá dělená

## Měřicí protokol č.8

### Specifikace a podmínky obrábění

nástroj	obrobek	použitá řezná kapalina	teplota řezné kapaliny a průtočné množství
<b>RO 19 810</b>	<b>ocel 12 050.1</b>	<b>Paracut 32</b>	<b>26°C      3,9 l.min<sup>-1</sup></b>
výchozí průměr obrobku D [ mm ] <b>56</b>	hloubka záběru a <sub>p</sub> [ mm ] <b>2</b>	posuv f [ mm/ot ] <b>0,2</b>	otáčky n [ ot/min ] <b>180</b>

### Měření výkonu a síly

vrstva	průměr obrob. D [ mm ]	chod napr. d <sub>0</sub> [ 1 ]	obráb. d <sub>1</sub> [ 1 ]	dílky výkon d [ 1 ]	konst. wattm. k [ 1 ]	užit. výkon P [ W ]	řezná rychl. v <sub>c</sub> [ m.min <sup>-1</sup> ]	řezná síla F <sub>c</sub> [ N ]
1	56	24	41	17	50	850	31,67	1 610,5
2	52	25	38	13	50	650	29,41	1 326,3
3	48	25	34	9	50	450	27,14	994,7
4	44	25	33	8	50	400	24,88	964,6
5	40	25	32	7	50	350	22,62	928,4

### Měření obrobku a nástroje

Drsnost povrchu obrobku						Opotřebení nástroje					Nárůst.
průměr obrob. D [ mm ]	měř. č. [ 1 ]	R-profil			P-profil nosný podíl MAKRO t <sub>pa</sub> 100% [ mm ]	měř. č. [ 1 ]	na hřbetu		na čele		střední výška [ mm ]
		pr. aritm. úchylka pos.pov. Ra [ mm ]	výška nerovn. z 10 b. Rz [ mm ]	celková výška profilu Rt [ mm ]			opotřeb. na hřbetě VB [ mm ]	opotř. (rýha na hřb.) VN [ mm ]	hloubka výmolu KT [ mm ]	šířka výmolu (od ostří) KB [ mm ]	
52	1	7,0	47,3	66,5	-	1	0,174	0,311	0,035	1,591	0,233
	2	6,4	35,3	40,4	-	2	0,170	0,308	0,036	1,599	0,239
	3	5,3	32,6	39,7	40,58	3	0,176	0,309	0,036	1,594	0,237
	aritm. pr.	6,2	38,4	48,9		aritm. pr.	0,173	0,309	0,036	1,595	0,236
44	1	8,2	48,9	72,7	-	Poznámky k měření : Ra, Rt - dle ČSN ISO 4287 z roku 1999 Rz - dle ISO 4287 z roku 1984					
	2	8,0	53,4	78,0	-						
	3	8,7	52,6	72,5	63,88						
	aritm. pr.	8,3	51,6	74,4							
36	1	9,6	58,8	96,1	-						
	2	8,1	48,5	67,7	-						
	3	8,0	56,2	79,9	64,08						
	aritm. pr.	8,6	54,5	81,2							

### Další záznamy

1. vrstva - tříška	vlnitá šroubovitá dlouhá
2. vrstva - tříška	obloukovitá dělená, po 1/4 vlnitá šroubovitá dlouhá
3. vrstva - tříška	obloukovitá dělená
4. vrstva - tříška	obloukovitá dělená
5. vrstva - tříška	obloukovitá dělená



## Měřicí protokol č.9

### Specifikace a podmínky obrábění

nástroj	obrobek	použitá řezná kapalina	teplota řezné kapaliny a průtočné množství
<b>RO 19 810</b>	<b>ocel 12 050.1</b>	<b>Paracut 32</b>	<b>26°C      3,9 l.min<sup>-1</sup></b>
výchozí průměr obrobku D [ mm ] <b>56</b>	hloubka záběru a <sub>p</sub> [ mm ] <b>2</b>	posuv f [ mm/ot ] <b>0,2</b>	otáčky n [ ot/min ] <b>180</b>

### Měření výkonu a síly

vrstva	průměr obrob. D [ mm ]	chod napr. d <sub>0</sub> [ 1 ]	obráb. d <sub>1</sub> [ 1 ]	dílky výkon d [ 1 ]	konst. wattm. k [ 1 ]	užit. výkon P [ W ]	řezná rychl. v <sub>c</sub> [ m.min <sup>-1</sup> ]	řezná síla F <sub>c</sub> [ N ]
1	56	24	39	15	50	750	31,67	1 421,0
2	52	24	38	14	50	700	29,41	1 428,3
3	48	24	33	9	50	450	27,14	994,7
4	44	24	32	8	50	400	24,88	964,6
5	40	24	32	8	50	400	22,62	1 061,0

### Měření obrobku a nástroje

Drsnost povrchu obrobku						Opotřebení nástroje					Nárůst.
průměr obrob.	měř. č.	R-profil			P-profil	měř. č.	na hřbetu		na čele		střední výška
		pr. aritm. úchylka pos.pov.	výška nerovn. z 10 b.	celková výška profilu	nosný podíl MAKRO t <sub>pa</sub> 100%		opotřeb. na hřbetě	opotř. (rýha na hřb.)	hloubka výmolu	šířka výmolu (od ostří)	
D [ mm ]	[ 1 ]	Ra [ mm ]	Rz [ mm ]	Rt [ mm ]	t <sub>pa</sub> 100% [ mm ]	[ 1 ]	VB [ mm ]	VN [ mm ]	KT [ mm ]	KB [ mm ]	[ mm ]
52	1	5,5	27,9	32,3	-	1	0,149	0,611	0,036	1,490	0,278
	2	6,2	31,2	39,5	-	2	0,147	0,608	0,034	1,488	0,275
	3	6,4	37,1	55,4	39,92	3	0,150	0,606	0,036	1,486	0,274
	aritm. pr.	6,0	32,1	42,4		aritm. pr.	0,149	0,608	0,035	1,488	0,276
44	1	11,6	67,8	104,4	-	Poznámky k měření : Ra, Rt - dle ČSN ISO 4287 z roku 1999 Rz - dle ISO 4287 z roku 1984					
	2	12,5	79,3	97,8	-						
	3	9,6	68,8	94,1	62,40						
	aritm. pr.	11,2	72,0	98,8							
36	1	9,4	66,9	102,2	-						
	2	7,8	49,8	69,2	-						
	3	11,0	65,6	85,7	69,88						
	aritm. pr.	9,4	60,8	85,7							

### Další záznamy

1. vrstva - tříska	vlnitá šroubovitá dlouhá
2. vrstva - tříska	vlnitá šroubovitá dlouhá, po 2/3 vlnitá šroubovitá krátká
3. vrstva - tříska	obloukovitá dělená
4. vrstva - tříska	obloukovitá dělená
5. vrstva - tříska	obloukovitá dělená

# Měřicí protokol č.10

## Specifikace a podmínky obrábění

nástroj	obrobek	použitá řezná kapalina	teplota řezné kapaliny a průtočné množství
<b>RO 19 810</b>	<b>ocel 12 050.1</b>	<b>Paracut 32</b>	<b>26°C      3,9 l.min<sup>-1</sup></b>
výchozí průměr obrobku D [ mm ] <b>56</b>	hloubka záběru a <sub>p</sub> [ mm ] <b>2</b>	posuv f [ mm/ot ] <b>0,2</b>	otáčky n [ ot/min ] <b>180</b>

## Měření výkonu a síly

vrstva	průměr obrob. D [ mm ]	chod napr. d <sub>0</sub> [ 1 ]	obráb. d <sub>1</sub> [ 1 ]	dílky výkon d [ 1 ]	konst. wattm. k [ 1 ]	užit. výkon P [ W ]	řezná rychl. v <sub>c</sub> [ m.min <sup>-1</sup> ]	řezná síla F <sub>c</sub> [ N ]
1	56	24	40	16	50	800	31,67	1 515,8
2	52	24	39	15	50	750	29,41	1 530,3
3	48	24	34	10	50	500	27,14	1 105,2
4	44	24	33	9	50	450	24,88	1 085,1
5	40	24	31	7	50	350	22,62	928,4

## Měření obrobku a nástroje

Drsnost povrchu obrobku						Opotřebení nástroje					Nárůst.
průměr obrob.	měř. č.	R-profil			P-profil	měř. č.	na hřbetu		na čele		střední výška
		pr. aritm. úchylka pos.pov.	výška nerovn. z 10 b.	celková výška profilu	nosný podíl MAKRO t <sub>pa</sub> 100%		opotřeb. na hřbetě	opotř. (rýha na hřb.)	hloubka výmolu	šířka výmolu (od ostří)	
D [ mm ]	[ 1 ]	Ra [ mm ]	Rz [ mm ]	Rt [ mm ]	[ mm ]	[ 1 ]	VB [ mm ]	VN [ mm ]	KT [ mm ]	KB [ mm ]	[ mm ]
52	1	3,6	25,7	36,3	-	1	0,168	0,316	0,048	1,568	0,280
	2	5,2	40,3	55,0	-	2	0,167	0,314	0,046	1,564	0,285
	3	6,1	43,9	91,2	43,56	3	0,166	0,316	0,048	1,562	0,285
	aritm. pr.	5,0	36,6	60,8		aritm. pr.	0,167	0,315	0,047	1,565	0,283
44	1	9,6	58,3	67,4	-	Poznámky k měření : Ra, Rt - dle ČSN ISO 4287 z roku 1999 Rz - dle ISO 4287 z roku 1984					
	2	8,4	45,6	59,7	-						
	3	9,6	48,9	59,6	47,60						
	aritm. pr.	9,2	50,9	62,2							
36	1	9,5	51,4	76,6	-						
	2	7,8	45,2	59,4	-						
	3	7,1	50,4	67,1	57,32						
	aritm. pr.	8,1	49,0	67,7							

## Další záznamy

1. vrstva - tříška	stužková dlouhá
2. vrstva - tříška	vlnitá šroubovitá krátká, po 1/4 stužková dlouhá
3. vrstva - tříška	obloukovitá dělená
4. vrstva - tříška	obloukovitá dělená
5. vrstva - tříška	obloukovitá dělená

# Měřicí protokol č.11

## Specifikace a podmínky obrábění

nástroj	obrobek	použitá řezná kapalina	teplota řezné kapaliny a průtočné množství
<b>RO 19 810</b>	<b>ocel 12 050.1</b>	<b>Paramul ERO - SB</b> <b>koncentrace 3,33%</b>	<b>17°C</b> <b>3,57 l.min<sup>-1</sup></b>
výchozí průměr obrobku D [ mm ] <b>56</b>	hloubka záběru a <sub>p</sub> [ mm ] <b>2</b>	posuv f [ mm/ot ] <b>0,2</b>	otáčky n [ ot/min ] <b>180</b>

## Měření výkonu a síly

vrstva	průměr obrob. D [ mm ]	chod napr. d <sub>0</sub> [ 1 ]	obráb. d <sub>1</sub> [ 1 ]	dílky výkon d [ 1 ]	konst. wattm. k [ 1 ]	užit. výkon P [ W ]	řezná rychl. v <sub>c</sub> [ m.min <sup>-1</sup> ]	řezná síla F <sub>c</sub> [ N ]
1	56	27	38	11	50	550	31,67	1 042,1
2	52	26	37	11	50	550	29,41	1 122,2
3	48	26	36	10	50	500	27,14	1 105,2
4	44	26	35	9	50	450	24,88	1 085,1
5	40	25	34	9	50	450	22,62	1 193,7

## Měření obrobku a nástroje

Drsnost povrchu obrobku						Opotřebení nástroje					Nárůst.
průměr obrob. D [ mm ]	měř. č. [ 1 ]	R-profil			P-profil nosný podíl MAKRO t <sub>pa</sub> 100% [ mm ]	měř. č. [ 1 ]	na hřbetu		na čele		střední výška [ mm ]
		pr. aritm. úchylka pos.pov. Ra [ mm ]	výška nerovn. z 10 b. Rz [ mm ]	celková výška profilu Rt [ mm ]			opotřeb. na hřbetě VB [ mm ]	opotř. (rýha na hřb.) VN [ mm ]	hloubka výmolu KT [ mm ]	šířka výmolu (od ostří) KB [ mm ]	
52	1	4,5	30,8	34,5	-	1	0,179	0,397	0,077	1,695	
	2	4,8	30,8	34,5	-	2	0,178	0,390	0,074	1,691	
	3	6,0	42,5	56,4	52,80	3	0,180	0,391	0,075	1,697	
	aritm. pr.	5,1	34,7	41,8		aritm. pr.	0,179	0,393	0,075	1,694	
44	1	6,3	50,2	65,3	-	Poznámky k měření : Ra, Rt - dle ČSN ISO 4287 z roku 1999 Rz - dle ISO 4287 z roku 1984					
	2	7,5	52,4	72,8	-						
	3	6,7	45,8	69,2	61,00						
	aritm. pr.	6,8	49,5	69,1							
36	1	11,3	75,3	112,6	-						
	2	10,8	69,0	100,6	-						
	3	10,5	65,2	100,6	63,80						
	aritm. pr.	10,9	69,8	104,6							

## Další záznamy

1. vrstva - tříška	vinutá dlouhá
2. vrstva - tříška	vinutá krátká
3. vrstva - tříška	vinutá krátká
4. vrstva - tříška	vinutá krátká
5. vrstva - tříška	vinutá krátká

# Měřicí protokol č.12

## Specifikace a podmínky obrábění

nástroj	obrobek	použitá řezná kapalina	teplota řezné kapaliny a průtočné množství
<b>RO 19 810</b>	<b>ocel 12 050.1</b>	<b>Paramul ERO - SB</b> <b>koncentrace 3,33%</b>	<b>17°C</b> <b>3,57 l.min<sup>-1</sup></b>
výchozí průměr obrobku D [ mm ] <b>56</b>	hloubka záběru a <sub>p</sub> [ mm ] <b>2</b>	posuv f [ mm/ot ] <b>0,2</b>	otáčky n [ ot/min ] <b>180</b>

## Měření výkonu a síly

vrstva	průměr obrob.	chod napr.	obráb.	dílky výkon	konst. wattm.	užit. výkon	řezná rychl.	řezná síla
	D	d <sub>0</sub>	d <sub>1</sub>	d	k	P	v <sub>c</sub>	F <sub>c</sub>
	[ mm ]	[ l ]	[ l ]	[ l ]	[ l ]	[ W ]	[ m.min <sup>-1</sup> ]	[ N ]
1	56	25	40	15	50	750	31,67	1 421,0
2	52	25	37	12	50	600	29,41	1 224,3
3	48	25	35	10	50	500	27,14	1 105,2
4	44	25	35	10	50	500	24,88	1 205,7
5	40	25	35	10	50	500	22,62	1 326,3

## Měření obrobku a nástroje

Drsnost povrchu obrobku						Opotřebení nástroje					Nárůst.
průměr obrob.  D [ mm ]	měř. č. [ l ]	R-profil			P-profil nosný podíl MAKRO t <sub>pa</sub> 100% [ mm ]	měř. č. [ l ]	na hřbetu		na čele		střední výška [ mm ]
		pr. aritm. úchylka pos.pov. Ra [ mm ]	výška nerovn. z 10 b. Rz [ mm ]	celková výška profilu Rt [ mm ]			opotřeb. na hřbetě VB [ mm ]	opotř. (rýha na hřb.) VN [ mm ]	hloubka výmolu KT [ mm ]	šířka výmolu (od ostří) KB [ mm ]	
52	1	4,4	29,8	39,7	-	1	0,232	0,573	0,079	1,690	0,330
	2	3,7	27,3	38,8	-	2	0,238	0,277	0,080	1,698	0,335
	3	4,6	32,4	49,0	46,12	3	0,235	0,577	0,079	1,691	0,334
	aritm. pr.	4,2	29,8	42,5		aritm. pr.	0,235	0,476	0,079	1,693	0,333
44	1	5,8	40,2	71,3	-	Poznámky k měření : Ra, Rt - dle ČSN ISO 4287 z roku 1999 Rz - dle ISO 4287 z roku 1984					
	2	4,3	37,6	65,5	-						
	3	6,9	43,2	61,4	54,16						
	aritm. pr.	5,7	40,3	66,1							
36	1	8,5	67,6	105,0	-						
	2	8,7	54,3	79,6	-						
	3	10,0	74,7	123,9	85,04						
	aritm. pr.	9,1	65,5	102,8							

## Další záznamy

1. vrstva - tříška	vinutá dlouhá
2. vrstva - tříška	vinutá krátká
3. vrstva - tříška	vinutá krátká
4. vrstva - tříška	vinutá krátká
5. vrstva - tříška	vinutá krátká

# Měřicí protokol č.13

## Specifikace a podmínky obrábění

nástroj	obrobek	použitá řezná kapalina	teplota řezné kapaliny a průtočné množství
<b>RO 19 810</b>	<b>ocel 12 050.1</b>	<b>Paramul ERO - SB koncentrace 3,33%</b>	<b>22°C      3,57 l.min<sup>-1</sup></b>
výchozí průměr obrobku D [ mm ] <b>56</b>	hloubka záběru a <sub>p</sub> [ mm ] <b>2</b>	posuv f [ mm/ot ] <b>0,2</b>	otáčky n [ ot/min ] <b>180</b>

## Měření výkonu a síly

vrstva	průměr obrob. D [ mm ]	chod napr. d <sub>0</sub> [ 1 ]	obráb. d <sub>1</sub> [ 1 ]	dílky výkon d [ 1 ]	konst. wattm. k [ 1 ]	užit. výkon P [ W ]	řezná rychl. v <sub>c</sub> [ m.min <sup>-1</sup> ]	řezná síla F <sub>c</sub> [ N ]
1	56	25	39	14	50	700	31,67	1 326,3
2	52	25	36	11	50	550	29,41	1 122,2
3	48	25	35	10	50	500	27,14	1 105,2
4	44	25	33	8	50	400	24,88	964,6
5	40	25	33	8	50	400	22,62	1 061,0

## Měření obrobku a nástroje

Drsnost povrchu obrobku						Opotřebení nástroje					Nárůst.
průměr obrob. D [ mm ]	měř. č. [ 1 ]	R-profil			P-profil	měř. č. [ 1 ]	na hřbetu		na čele		střední výška [ mm ]
		pr. aritm. úchylka pos.pov. Ra [ mm ]	výška nerovn. z 10 b. Rz [ mm ]	celková výška profilu Rt [ mm ]	nosný podíl MAKRO t <sub>pa</sub> 100% [ mm ]		opotřeb. na hřbetě VB [ mm ]	opotř. (rýha na hřb.) VN [ mm ]	hloubka výmolu KT [ mm ]	šířka výmolu (od ostří) KB [ mm ]	
52	1	4,6	32,4	46,2	-	1	0,256	0,573	0,040	1,676	0,475
	2	4,7	32,1	46,7	-	2	0,259	0,577	0,036	1,675	0,476
	3	4,2	28,7	32,2	31,78	3	0,263	0,574	0,040	1,674	0,475
	aritm. pr.	4,5	31,1	41,7		aritm. pr.	0,259	0,575	0,039	1,675	0,475
44	1	6,6	45,1	62,8	-	Poznámky k měření : Ra, Rt - dle ČSN ISO 4287 z roku 1999 Rz - dle ISO 4287 z roku 1984					
	2	6,6	42,6	64,8	-						
	3	6,9	42,7	55,0	42,28						
	aritm. pr.	6,7	43,5	60,9							
36	1	9,7	65,8	110,3	-						
	2	9,1	64,3	90,6	-						
	3	9,5	47,2	90,0	80,80						
	aritm. pr.	9,4	59,1	97,0							

## Další záznamy

1. vrstva - tříška	vinutá dlouhá
2. vrstva - tříška	vinutá krátká
3. vrstva - tříška	vinutá krátká
4. vrstva - tříška	vinutá krátká
5. vrstva - tříška	vinutá krátká

# Měřicí protokol č.14

## Specifikace a podmínky obrábění

nástroj	obrobek	použitá řezná kapalina	teplota řezné kapaliny a průtočné množství
<b>RO 19 810</b>	<b>ocel 12 050.1</b>	<b>Paramul ERO - SB</b> <b>koncentrace 3,33%</b>	<b>22°C</b> <b>3,57 l.min<sup>-1</sup></b>
výchozí průměr obrobku D [ mm ] <b>56</b>	hloubka záběru a <sub>p</sub> [ mm ] <b>2</b>	posuv f [ mm/ot ] <b>0,2</b>	otáčky n [ ot/min ] <b>180</b>

## Měření výkonu a síly

vrstva	průměr obrob. D [ mm ]	chod napr. d <sub>0</sub> [ 1 ]	obráb. d <sub>1</sub> [ 1 ]	dílky výkon d [ 1 ]	konst. wattm. k [ 1 ]	užit. výkon P [ W ]	řezná rychl. v <sub>c</sub> [ m.min <sup>-1</sup> ]	řezná síla F <sub>c</sub> [ N ]
1	56	25	39	14	50	700	31,67	1 326,3
2	52	25	35	10	50	500	29,41	1 020,2
3	48	25	35	10	50	500	27,14	1 105,2
4	44	25	34	9	50	450	24,88	1 085,1
5	40	25	32	7	50	350	22,62	928,4

## Měření obrobku a nástroje

Drsnost povrchu obrobku						Opotřebení nástroje					Nárůst.
průměr obrob. D [ mm ]	měř. č. [ 1 ]	R-profil			P-profil	měř. č. [ 1 ]	na hřbetu		na čele		střední výška [ mm ]
		pr. aritm. úchylka pos.pov. Ra [ mm ]	výška nerovn. z 10 b. Rz [ mm ]	celková výška profilu Rt [ mm ]	nosný podíl MAKRO t <sub>pa</sub> 100% [ mm ]		opotřeb. na hřbetě VB [ mm ]	opotř. (rýha na hřb.) VN [ mm ]	hloubka výmolu KT [ mm ]	šířka výmolu (od ostří) KB [ mm ]	
52	1	5,4	39,5	44,4	-	1	0,278	0,504	0,079	1,788	
	2	5,0	33,2	42,0	-	2	0,276	0,501	0,080	1,783	
	3	5,1	31,5	39,9	39,08	3	0,275	0,501	0,080	1,786	
	aritm. pr.	5,2	34,7	42,1		aritm. pr.	0,276	0,502	0,080	1,786	
44	1	6,6	47,6	77,7	-	Poznámky k měření : Ra, Rt - dle ČSN ISO 4287 z roku 1999 Rz - dle ISO 4287 z roku 1984					
	2	5,7	42,3	56,1	-						
	3	5,6	36,6	45,4	48,80						
	aritm. pr.	6,0	42,2	59,7							
36	1	7,6	49,4	104,4	-						
	2	9,4	65,9	102,6	-						
	3	7,3	52,4	77,7	55,08						
	aritm. pr.	8,1	55,9	94,9							

## Další záznamy

1. vrstva - tříška	vinutá dlouhá
2. vrstva - tříška	vinutá krátká
3. vrstva - tříška	vinutá krátká
4. vrstva - tříška	vinutá krátká
5. vrstva - tříška	vinutá krátká

# Měřicí protokol č.15

## Specifikace a podmínky obrábění

nástroj	obrobek	použitá řezná kapalina	teplota řezné kapaliny a průtočné množství
<b>RO 19 810</b>	<b>ocel 12 050.1</b>	<b>Paramul ERO - SB koncentrace 3,33%</b>	<b>22°C      3,57 l.min<sup>-1</sup></b>
výchozí průměr obrobku D [ mm ] <b>56</b>	hloubka záběru a <sub>p</sub> [ mm ] <b>2</b>	posuv f [ mm/ot ] <b>0,2</b>	otáčky n [ ot/min ] <b>180</b>

## Měření výkonu a síly

vrstva	průměr obrob. D [ mm ]	chod napr. d <sub>0</sub> [ 1 ]	obráb. d <sub>1</sub> [ 1 ]	dílky výkon d [ 1 ]	konst. wattm. k [ 1 ]	užit. výkon P [ W ]	řezná rychl. v <sub>c</sub> [ m.min <sup>-1</sup> ]	řezná síla F <sub>c</sub> [ N ]
1	56	25	38	13	50	650	31,67	1 231,6
2	52	25	35	10	50	500	29,41	1 020,2
3	48	25	34	9	50	450	27,14	994,7
4	44	25	33	8	50	400	24,88	964,6
5	40	25	31	6	50	300	22,62	795,8

## Měření obrobku a nástroje

Drsnost povrchu obrobku						Opotřebení nástroje					Nárůst.
průměr obrob. D [ mm ]	měř. č. [ 1 ]	R-profil			P-profil	měř. č. [ 1 ]	na hřbetu		na čele		střední výška
		pr. aritm. úchylka pos.pov. Ra [ mm ]	výška nerovn. z 10 b. Rz [ mm ]	celková výška profilu Rt [ mm ]	nosný podíl MAKRO t <sub>pa</sub> 100% [ mm ]		opotřeb. na hřbetě VB [ mm ]	opotř. (rýha na hřb.) VN [ mm ]	hloubka výmolu KT [ mm ]	šířka výmolu (od ostří) KB [ mm ]	
52	1	4,4	33,7	50,1	-	1	0,295	0,387	0,081	1,755	0,371
	2	5,8	34,6	52,6	-	2	0,296	0,384	0,078	1,751	0,370
	3	6,3	43,4	59,0	40,14	3	0,296	0,384	0,080	1,755	0,370
	aritm. pr.	5,5	37,2	53,9		aritm. pr.	0,296	0,385	0,080	1,754	0,370
44	1	7,3	44,3	64,6	-	Poznámky k měření : Ra, Rt - dle ČSN ISO 4287 z roku 1999 Rz - dle ISO 4287 z roku 1984					
	2	7,1	48,6	77,9	-						
	3	7,6	47,7	70,5	45,00						
	aritm. pr.	7,3	46,9	71,0							
36	1	8,1	51,9	84,6	-						
	2	7,6	59,3	114,7	-						
	3	7,9	64,0	98,8	83,68						
	aritm. pr.	7,9	58,4	99,4							

## Další záznamy

1. vrstva - tříška	vinutá dlouhá
2. vrstva - tříška	vinutá krátká
3. vrstva - tříška	vinutá krátká
4. vrstva - tříška	vinutá krátká
5. vrstva - tříška	vinutá krátká

# Měřicí protokol č.16

## Specifikace a podmínky obrábění

nástroj	obrobek	použitá řezná kapalina	teplota řezné kapaliny a průtočné množství
<b>RO 19 810</b>	<b>ocel 12 050.1</b>	<b>Paramul ERO - SB koncentrace 3,33%</b>	<b>17°C      3,57 l.min<sup>-1</sup></b>
výchozí průměr obrobku D [ mm ] <b>56</b>	hloubka záběru a <sub>p</sub> [ mm ] <b>2</b>	posuv f [ mm/ot ] <b>0,2</b>	otáčky n [ ot/min ] <b>180</b>

## Měření výkonu a síly

vrstva	průměr obrob. D [ mm ]	chod napr. d <sub>0</sub> [ 1 ]	obráb. d <sub>1</sub> [ 1 ]	dílky výkon d [ 1 ]	konst. wattm. k [ 1 ]	užit. výkon P [ W ]	řezná rychl. v <sub>c</sub> [ m.min <sup>-1</sup> ]	řezná síla F <sub>c</sub> [ N ]
1	56	27	38	11	50	550	31,67	1 042,1
2	52	26	38	12	50	600	29,41	1 224,3
3	48	26	36	10	50	500	27,14	1 105,2
4	44	26	35	9	50	450	24,88	1 085,1
5	40	26	34	8	50	400	22,62	1 061,0

## Měření obrobku a nástroje

Drsnost povrchu obrobku						Opotřebení nástroje					Nárůst.
průměr obrob. D [ mm ]	měř. č. [ 1 ]	R-profil			P-profil nosný podíl MAKRO t <sub>pa</sub> 100% [ mm ]	měř. č. [ 1 ]	na hřbetu		na čele		střední výška [ mm ]
		pr. aritm. úchylka pos.pov. Ra [ mm ]	výška nerovn. z 10 b. Rz [ mm ]	celková výška profilu Rt [ mm ]			opotřeb. na hřbetě VB [ mm ]	opotř. (rýha na hřb.) VN [ mm ]	hloubka výmolu KT [ mm ]	šířka výmolu (od ostří) KB [ mm ]	
52	1	5,9	38,9	53,4	-	1	0,304	0,390	0,056	1,637	0,325
	2	7,5	49,6	62,3	-	2	0,305	0,387	0,063	1,638	0,324
	3	6,0	37,2	46,3	40,12	3	0,306	0,390	0,063	1,637	0,325
	aritm. pr.	6,5	41,9	54,0		aritm. pr.	0,305	0,389	0,061	1,637	0,325
44	1	8,6	58,7	82,1	-	Poznámky k měření : Ra, Rt - dle ČSN ISO 4287 z roku 1999 Rz - dle ISO 4287 z roku 1984					
	2	7,5	54,0	80,5	-						
	3	6,6	49,6	73,6	51,00						
	aritm. pr.	7,6	54,1	78,7							
36	1	8,7	60,9	129,3	-						
	2	9,5	63,8	91,9	-						
	3	8,3	62,5	110,9	77,56						
	aritm. pr.	8,8	62,4	110,7							

## Další záznamy

1. vrstva - tříška	vinutá dlouhá, po 2/3 vinutá krátká
2. vrstva - tříška	vinutá krátká
3. vrstva - tříška	vinutá krátká
4. vrstva - tříška	vinutá krátká
5. vrstva - tříška	vinutá krátká



# Měřicí protokol č.17

## Specifikace a podmínky obrábění

nástroj	obrobek	použitá řezná kapalina	teplota řezné kapaliny a průtočné množství
<b>RO 19 810</b>	<b>ocel 12 050.1</b>	<b>Paramul ERO - SB koncentrace 3,33%</b>	<b>20°C      3,57 l.min<sup>-1</sup></b>
výchozí průměr obrobku D [ mm ] <b>56</b>	hloubka záběru a <sub>p</sub> [ mm ] <b>2</b>	posuv f [ mm/ot ] <b>0,2</b>	otáčky n [ ot/min ] <b>180</b>

## Měření výkonu a síly

vrstva	průměr obrob. D [ mm ]	chod napr. d <sub>0</sub> [ 1 ]	obráb. d <sub>1</sub> [ 1 ]	dílky výkon d [ 1 ]	konst. wattm. k [ 1 ]	užit. výkon P [ W ]	řezná rychl. v <sub>c</sub> [ m.min <sup>-1</sup> ]	řezná síla F <sub>c</sub> [ N ]
1	56	25	39	14	50	700	31,67	1 326,3
2	52	25	36	11	50	550	29,41	1 122,2
3	48	25	35	10	50	500	27,14	1 105,2
4	44	25	34	9	50	450	24,88	1 085,1
5	40	25	33	8	50	400	22,62	1 061,0

## Měření obrobku a nástroje

Drsnost povrchu obrobku						Opotřebení nástroje					Nárůst.
průměr obrob. D [ mm ]	měř. č. [ 1 ]	R-profil			P-profil	měř. č. [ 1 ]	na hřbetu		na čele		střední výška [ mm ]
		pr. aritm. úchylka pos.pov. Ra [ mm ]	výška nerovn. z 10 b. Rz [ mm ]	celková výška profilu Rt [ mm ]	nosný podíl MAKRO t <sub>pa</sub> 100% [ mm ]		opotřeb. na hřbetě VB [ mm ]	opotř. (rýha na hřb.) VN [ mm ]	hloubka výmolu KT [ mm ]	šířka výmolu (od ostří) KB [ mm ]	
52	1	8,3		49,2	-	1	0,268	0,484	0,070	1,724	
	2	5,6	36,8	51,5	-	2	0,267	0,481	0,064	1,719	
	3	8,0	44,1	58,9	47,88	3	0,271	0,484	0,070	1,719	
	aritm. pr.	7,3	40,5	53,2		aritm. pr.	0,269	0,483	0,068	1,721	
44	1	5,2	41,5	70,0	-	Poznámky k měření : Ra, Rt - dle ČSN ISO 4287 z roku 1999 Rz - dle ISO 4287 z roku 1984					
	2	7,4	45,8	59,4	-						
	3	6,2	45,5	65,8	50,24						
	aritm. pr.	6,3	44,3	65,1							
36	1	8,7	72,6	100,4	-						
	2	7,8	60,1	114,3	-						
	3	8,5	67,9	128,1	96,64						
	aritm. pr.	8,3	66,9	114,3							

## Další záznamy

1. vrstva - tříška	vinutá dlouhá, po 2/3 vinutá krátká
2. vrstva - tříška	vinutá krátká
3. vrstva - tříška	vinutá krátká
4. vrstva - tříška	vinutá krátká
5. vrstva - tříška	vinutá krátká

# Měřicí protokol č.18

## Specifikace a podmínky obrábění

nástroj	obrobek	použitá řezná kapalina	teplota řezné kapaliny a průtočné množství
<b>RO 19 810</b>	<b>ocel 12 050.1</b>	<b>Paramul ERO - SB koncentrace 3,33%</b>	<b>21°C      3,57 l.min<sup>-1</sup></b>
výchozí průměr obrobku D [ mm ] <b>56</b>	hloubka záběru a <sub>p</sub> [ mm ] <b>2</b>	posuv f [ mm/ot ] <b>0,2</b>	otáčky n [ ot/min ] <b>180</b>

## Měření výkonu a síly

vrstva	průměr obrob. D [ mm ]	chod napr. d <sub>0</sub> [ 1 ]	obráb. d <sub>1</sub> [ 1 ]	dílky výkon d [ 1 ]	konst. wattm. k [ 1 ]	užit. výkon P [ W ]	řezná rychl. v <sub>c</sub> [ m.min <sup>-1</sup> ]	řezná síla F <sub>c</sub> [ N ]
1	56	25	38	13	50	650	31,67	1 231,6
2	52	25	36	11	50	550	29,41	1 122,2
3	48	25	35	10	50	500	27,14	1 105,2
4	44	25	34	9	50	450	24,88	1 085,1
5	40	25	32	7	50	350	22,62	928,4

## Měření obrobku a nástroje

Drsnost povrchu obrobku						Opotřebení nástroje					Nárůst.
průměr obrob. D [ mm ]	měř. č. [ 1 ]	R-profil			P-profil	měř. č. [ 1 ]	na hřbetu		na čele		střední výška [ mm ]
		pr. aritm. úchylka pos.pov. Ra [ mm ]	výška nerovn. z 10 b. Rz [ mm ]	celková výška profilu Rt [ mm ]	nosný podíl MAKRO t <sub>pa</sub> 100% [ mm ]		opotřeb. na hřbetě VB [ mm ]	opotř. (rýha na hřb.) VN [ mm ]	hloubka výmolu KT [ mm ]	šířka výmolu (od ostří) KB [ mm ]	
52	1	4,3	26,8	33,6	-	1	0,279	0,404	0,089	1,360	
	2	4,3	31,7	44,0	-	2	0,283	0,402	0,091	1,361	
	3	3,8	31,7	42,9	40,36	3	0,280	0,402	0,090	1,362	
	aritm. pr.	4,1	30,1	40,2		aritm. pr.	0,281	0,403	0,090	1,361	
44	1	6,5	42,1	56,1	-	Poznámky k měření : Ra, Rt - dle ČSN ISO 4287 z roku 1999 Rz - dle ISO 4287 z roku 1984					
	2	6,3	49,5	68,6	-						
	3	6,2	39,6	53,5	49,72						
	aritm. pr.	6,3	43,7	59,4							
36	1	8,3	57,7	94,2	-						
	2	8,2	64,8	104,0	-						
	3	8,6	55,7	76,2	54,56						
	aritm. pr.	8,4	59,4	91,5							

## Další záznamy

1. vrstva - tříška	vinutá dlouhá, po 2/3 vinutá krátká
2. vrstva - tříška	vinutá krátká
3. vrstva - tříška	vinutá krátká
4. vrstva - tříška	vinutá krátká
5. vrstva - tříška	vinutá krátká

# Měřicí protokol č.19

## Specifikace a podmínky obrábění

nástroj	obrobek	použitá řezná kapalina	teplota řezné kapaliny a průtočné množství
<b>RO 19 810</b>	<b>ocel 12 050.1</b>	<b>Paramul ERO - SB koncentrace 6,66%</b>	<b>21°C      3,57 l.min<sup>-1</sup></b>
výchozí průměr obrobku D [ mm ] <b>56</b>	hloubka záběru a <sub>p</sub> [ mm ] <b>2</b>	posuv f [ mm/ot ] <b>0,2</b>	otáčky n [ ot/min ] <b>180</b>

## Měření výkonu a síly

vrstva	průměr obrob. D [ mm ]	chod napr. d <sub>0</sub> [ 1 ]	obráb. d <sub>1</sub> [ 1 ]	dílky výkon d [ 1 ]	konst. wattm. k [ 1 ]	užit. výkon P [ W ]	řezná rychl. v <sub>c</sub> [ m.min <sup>-1</sup> ]	řezná síla F <sub>c</sub> [ N ]
1	56	25	39	14	50	700	31,67	1 326,3
2	52	25	36	11	50	550	29,41	1 122,2
3	48	25	35	10	50	500	27,14	1 105,2
4	44	24	34	10	50	500	24,88	1 205,7
5	40	24	32	8	50	400	22,62	1 061,0

## Měření obrobku a nástroje

Drsnost povrchu obrobku						Opotřebení nástroje					Nárůst.
průměr obrob. D [ mm ]	měř. č. [ 1 ]	R-profil			P-profil	měř. č. [ 1 ]	na hřbetu		na čele		střední výška [ mm ]
		pr. aritm. úchylka pos.pov. Ra [ mm ]	výška nerovn. z 10 b. Rz [ mm ]	celková výška profilu Rt [ mm ]	nosný podíl MAKRO t <sub>pa</sub> 100% [ mm ]		opotřeb. na hřbetě VB [ mm ]	opotř. (rýha na hřb.) VN [ mm ]	hloubka výmolu KT [ mm ]	šířka výmolu (od ostří) KB [ mm ]	
52	1	5,7	43,7	85,3	-	1	0,317	0,352	0,180	1,891	0,263
	2	7,3	57,4	100,5	-	2	0,317	0,352	0,182	1,890	0,267
	3	8,3	56,0	94,6	52,28	3	0,315	0,355	0,181	1,889	0,265
	aritm. pr.	7,1	52,4	93,5		aritm. pr.	0,316	0,353	0,181	1,890	0,265
44	1	6,1	45,7	76,0	-	Poznámky k měření : Ra, Rt - dle ČSN ISO 4287 z roku 1999 Rz - dle ISO 4287 z roku 1984					
	2	7,8	59,8	85,3	-						
	3	7,8	59,8	85,3	54,20						
	aritm. pr.	7,2	55,1	82,2							
36	1	8,5	60,4	128,5	-						
	2	5,9	50,5	86,4	-						
	3	7,2	52,2	91,2	70,60						
	aritm. pr.	7,2	54,4	102,0							

## Další záznamy

1. vrstva - tříška	vinutá dlouhá, po 2/3 vinutá krátká
2. vrstva - tříška	vinutá krátká
3. vrstva - tříška	vinutá krátká
4. vrstva - tříška	vinutá krátká
5. vrstva - tříška	vinutá krátká

## Měřicí protokol č.20

### Specifikace a podmínky obrábění

nástroj	obrobek	použitá řezná kapalina	teplota řezné kapaliny a průtočné množství
<b>RO 19 810</b>	<b>ocel 12 050.1</b>	<b>Paramul ERO - SB</b> <b>koncentrace 6,66%</b>	<b>17°C</b> <b>3,57 l.min<sup>-1</sup></b>
výchozí průměr obrobku D [ mm ] <b>56</b>	hloubka záběru a <sub>p</sub> [ mm ] <b>2</b>	posuv f [ mm/ot ] <b>0,2</b>	otáčky n [ ot/min ] <b>180</b>

### Měření výkonu a síly

vrstva	průměr obrob. D [ mm ]	chod napr. d <sub>0</sub> [ 1 ]	obráb. d <sub>1</sub> [ 1 ]	dílky výkon d [ 1 ]	konst. wattm. k [ 1 ]	užit. výkon P [ W ]	řezná rychl. v <sub>c</sub> [ m.min <sup>-1</sup> ]	řezná síla F <sub>c</sub> [ N ]
1	56	25	39	14	50	700	31,67	1 326,3
2	52	25	38	13	50	650	29,41	1 326,3
3	48	25	36	11	50	550	27,14	1 215,8
4	44	25	34	9	50	450	24,88	1 085,1
5	40	25	33	8	50	400	22,62	1 061,0

### Měření obrobku a nástroje

Drsnost povrchu obrobku						Opotřebení nástroje					Nárůst.
průměr obrob. D [ mm ]	měř. č. [ 1 ]	R-profil			P-profil	měř. č. [ 1 ]	na hřbetu		na čele		střední výška [ mm ]
		pr. aritm. úchylka pos.pov. Ra [ mm ]	výška nerovn. z 10 b. Rz [ mm ]	celková výška profilu Rt [ mm ]	nosný podíl MAKRO t <sub>pa</sub> 100% [ mm ]		opotřeb. na hřbetě VB [ mm ]	opotř. (rýha na hřb.) VN [ mm ]	hloubka výmolu KT [ mm ]	šířka výmolu (od ostří) KB [ mm ]	
52	1	4,8	31,5	47,4	-	1	0,275	0,391	0,088	1,877	0,275
	2	4,2	35,0	68,8	-	2	0,277	0,388	0,091	1,880	0,274
	3	4,4	34,8	72,6	43,72	3	0,280	0,389	0,090	1,879	0,275
	aritm. pr.	4,5	33,8	62,9		aritm. pr.	0,277	0,389	0,090	1,879	0,275
44	1	6,7	45,7	64,6	-	Poznámky k měření : Ra, Rt - dle ČSN ISO 4287 z roku 1999 Rz - dle ISO 4287 z roku 1984					
	2	7,6	48,6	55,8	-						
	3	5,9	41,9	49,0	42,28						
	aritm. pr.	6,7	45,4	56,5							
36	1	7,3	49,4	72,4	-						
	2	6,6	44,4	77,0	-						
	3	8,4	58,8	87,7	62,12						
	aritm. pr.	7,4	50,9	79,0							

### Další záznamy

1. vrstva - tříška	vinutá dlouhá, po 2/3 vinutá krátká
2. vrstva - tříška	vinutá krátká
3. vrstva - tříška	vinutá krátká
4. vrstva - tříška	vinutá krátká
5. vrstva - tříška	vinutá krátká

## 5. Vyhodnocení experimentů

### 5.1. Hodnocení provedených zkoušek

Všechny výsledky provedených zkoušek byly rozčleněny do čtyř základních oblastí: oblast výkonových parametrů, parametrů drsnosti povrchu, opotřebení řezného nástroje hodnocení utváření třísky.

Hodnoty byly statisticky zpracovány do tabulek, které jsou společně s grafickými závislostmi uvedeny na jednotlivých obrázcích. Výsledky v tabulkách jsou zpracovány pomocí aritmetického průměru a statistického intervalu spolehlivosti. Interval spolehlivosti byl stanoven podle vztahu 8 pro úroveň spolehlivosti 98%.

Poznámka: Každá měřená veličina (kromě opotřebení nástroje) je graficky zpracována vzhledem k řezné rychlosti a průměru součásti. Ze vztahu 2 je zřejmá přímá úměrnost mezi těmito veličinami. Grafická závislost vzhledem k Průměru součásti je uváděna pouze z důvodu lepší přehlednosti a orientaci ve zpracovaných hodnotách.

### 5.2. Hodnocení výkonových parametrů

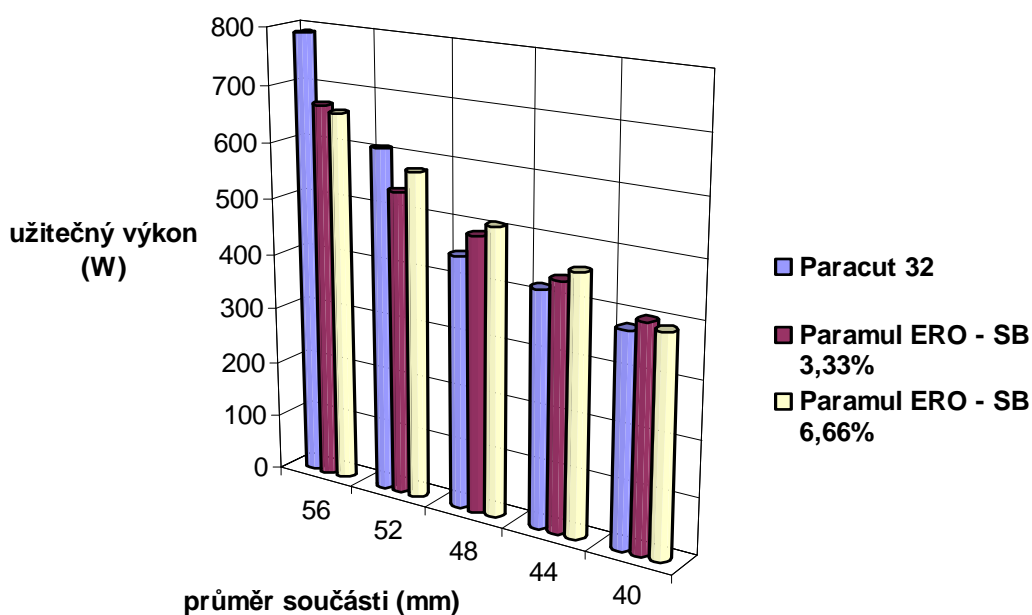
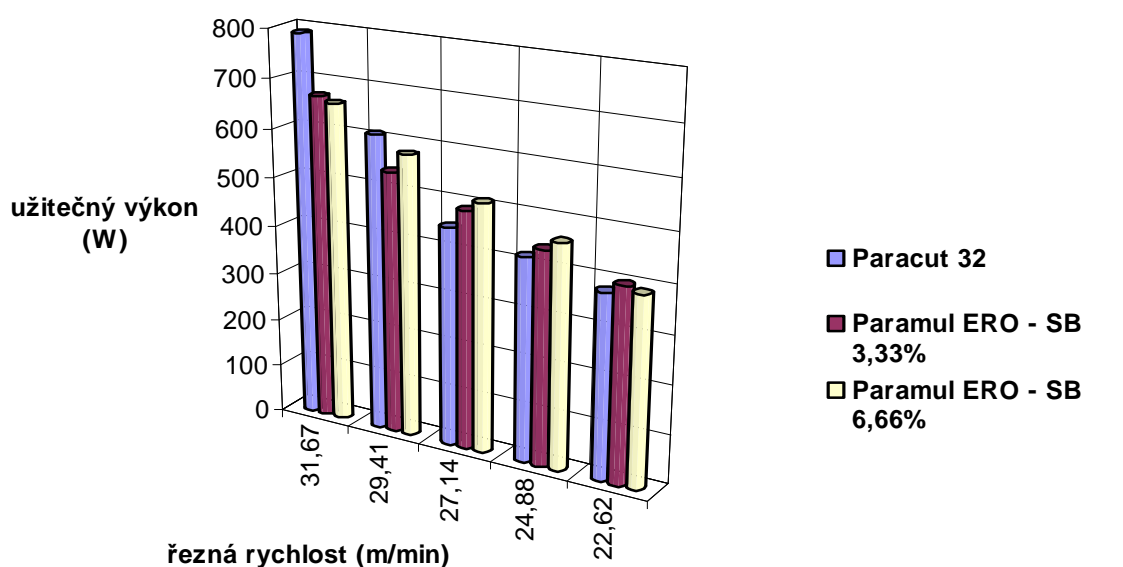
Výsledky měření užitečného výkonu při podélném soustružení pro obě zkoumané řezné kapaliny jsou uvedeny na obr.5. Z těchto hodnot vyplývá, že rozdíly mezi výsledky emulze Paramul ERO – SB s různými koncentracemi jsou jen velmi malé. Při porovnání hodnot emulze a řezného oleje Paracut 32 je vidět, že velmi významný rozdíl v naměřených hodnotách je při nejvyšší řezné rychlosti, kdy je hodnota užitečného výkonu pro zkoumané emulze značně nižší než pro řezný olej. Při snižování řezné rychlosti souvisejícího s odebíráním třísky a zmenšování průměru součásti dochází k postupnému vyrovnání hodnot naměřeného užitečného výkonu emulze a řezného oleje. Snižování hodnot je u řezného oleje Paracut 32 rychlejší než u emulze Paramul ERO - SB, kde se tyto hodnoty snižují pozvolněji.

Naměřené hodnoty řezné síly při soustružení dokládá obr.6. Výsledky jsou podobné, jako v případě měření užitečného výkonu, to znamená, že významný rozdíl je vidět pro nejvyšší řeznou rychlost, kdy je hodnota řezné síly pro řezný olej Paracut 32 podstatně vyšší než pro emulzi Paramul ERO – SB. Snižování hodnot řezné síly s klesající řeznou rychlostí je u řezného oleje opět rychlejší než u emulze.

## Užitečný výkon při podélném soustružení v závislosti na použité řezné kapalině

Užitečný výkon P (W)

Ø obrobku (mm)	řezná kapalina		
	Paracut 32	Paramul ERO - SB 3,3%	Paramul ERO - SB 6,6%
56	790 ± 30,4	670 ± 59,4	660 ± 51,1
52	610 ± 51,5	540 ± 32,8	580 ± 35,1
48	450 ± 19,6	490 ± 17,5	510 ± 17,5
44	420 ± 20,6	440 ± 32,8	460 ± 17,5
40	380 ± 20,6	400 ± 62,0	390 ± 17,5

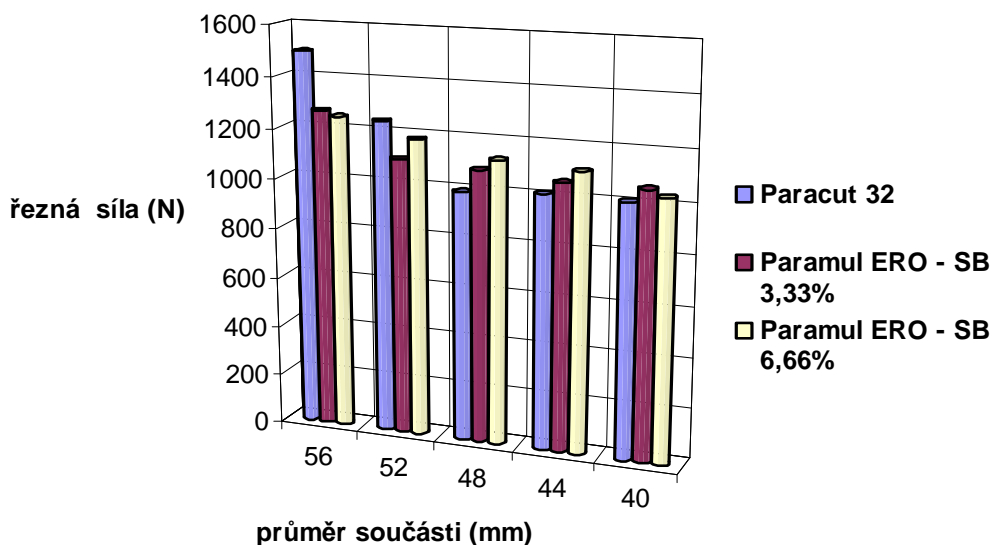
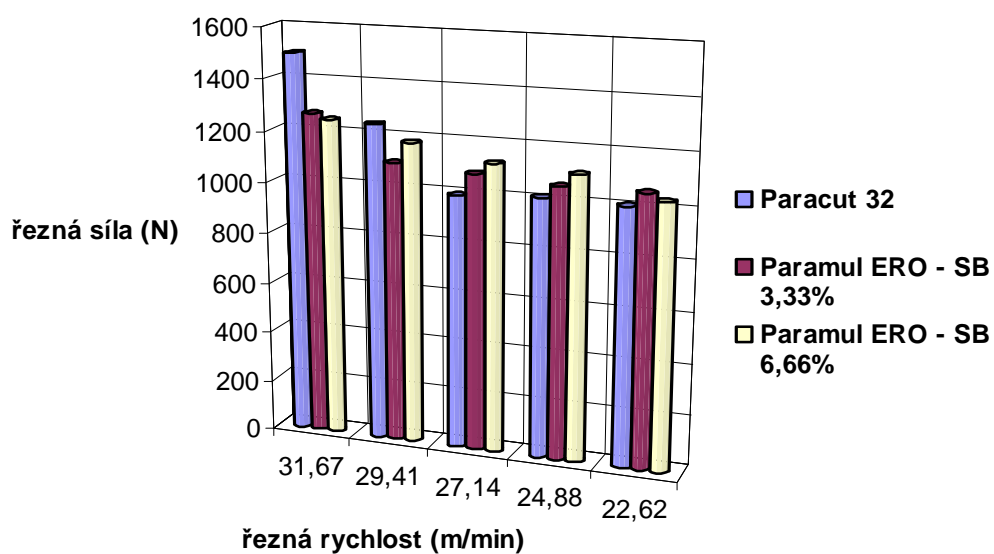


obr.5 Hodnoty užitečného výkonu v závislosti na řezné rychlosti a průměru součásti

## Řezná síla při podélném soustružení v závislosti na použité řezné kapalině

Řezná síla  $F_c$  (N)

Ø obrobku (mm)	řezná kapalina		
	<i>Paracut 32</i>	<i>Paramul ERO - SB 3,3%</i>	<i>Paramul ERO - SB 6,6%</i>
56	1496,8 ± 57,5	1269,5 ± 112,6	1250,5 ± 96,8
52	1244,7 ± 105,0	1101,8 ± 71,6	1183,4 ± 71,6
48	994,7 ± 43,3	1083,1 ± 38,7	1127,3 ± 38,8
44	1012,8 ± 49,6	1061,0 ± 79,1	1109,2 ± 42,3
40	1008,0 ± 54,5	1061,0 ± 164,4	1034,5 ± 46,5



obr.6 Hodnoty řezné síly v závislosti na řezné rychlosti a průměru součásti

### 5.3. Hodnocení parametrů drsnosti povrchu

Hodnoty parametrů drsnosti povrchu jsou uvedeny na obrázcích 7 až 10. Z naměřených je vidět, že už začíná být patrný rozdíl v hodnotách emulzí o různých koncentracích.

#### 5.2.1 Parametr Ra

Z naměřených závislostí je zřejmé, že se drsnost povrchu zvětšuje při snižování řezné rychlosti. Při obrábění vyšší řeznou rychlostí (29,41 m/min) je vhodné použít emulzi Paramul ERO – SB o koncentraci 3,33%. Naopak při nižších řezných rychlostech (20,36 m/min) dosahuje lepších hodnot Ra řezný olej Paracut 32.

#### 5.2.2. Parametr Rz

Také tento parametr se vyznačuje zvyšováním hodnot drsnosti povrchu při snižování řezné rychlosti. I v tomto případě dosahuje řezný olej Paracut 32 lepších výsledků při použití za nižších řezných rychlostí (20,36 m/min). Při vyšších řezných rychlostech (29,41 m/min) je opět nejvýhodnější použít emulzi Paramul ERO – SB o koncentraci 3,33%.

#### 5.2.3. Parametr Rt

Při porovnávání parametru Rt u měřených vzorků, dochází k prudkému nárůstu hodnot emulzí při obrábění nižší řeznou rychlostí (20,36 m/min) naopak, při rychlosti 29,41 m/min dosahují emulze lepších výsledků než řezný olej Paracut 32.

#### 5.2.4. Nosný podíl MAKRO $t_{pa}$

Parametr nosného podílu MAKRO  $t_{pa}$  ukazuje na lepší vlastnosti řezného oleje Paracut 32, neboť při zkouškách dosáhl lepších hodnot v tomto druhu opotřebení před emulzí Paramul ERO – SB.

### 5.3. Hodnocení opotřebení nástroje

Pro obrábění každé zkušební součásti byl použit nově naostřený soustružnický nůž a údaje o opotřebení byly vždy určeny až po ukončení zkoušky. Naměřené hodnoty opotřebení na čele i hřbetu nástroje jsou shrnuty na obr. 11.

Při porovnání naměřených hodnot je zřejmé, že menší opotřebení vychází u řezného oleje Paracut 32, a to u všech měřených parametrů. Co se týká obou emulzí (různých koncentrací), pak při jejich vzájemném porovnání pro parametry VB a KT dosahuje lepších výsledků emulze s koncentrací 3,33% a naopak u parametrů VN a KB emulze s koncentrací 6,66%.



Z hlediska procesu obrábění je velmi důležitá střední velikost nárůstku. V tomto parametru dosáhl lepších výsledků řezný olej Paracut 32 společně s emulzí Paramul ERO – SB s koncentrací 6,66%, jejichž hodnoty byly takřka srovnatelné. Je třeba podotknout, že u emulze nebylo možné 2x nárůstek vůbec změřit, a to jak u koncentrace 3,33%, tak i u koncentrace 6,66%. Z toho vyplývá, že emulze Paramul ERO – SB má vlastnost působit proti vznikaní nárůstků.

#### **5.4. Hodnocení utváření třísky**

Během provádění zkoušek vznikaly různé druhy třísek. Utváření třísky je závislé na řezných podmínkách, druhu a vlastnostech materiálu obráběné součásti a na geometrii břitu nástroje.

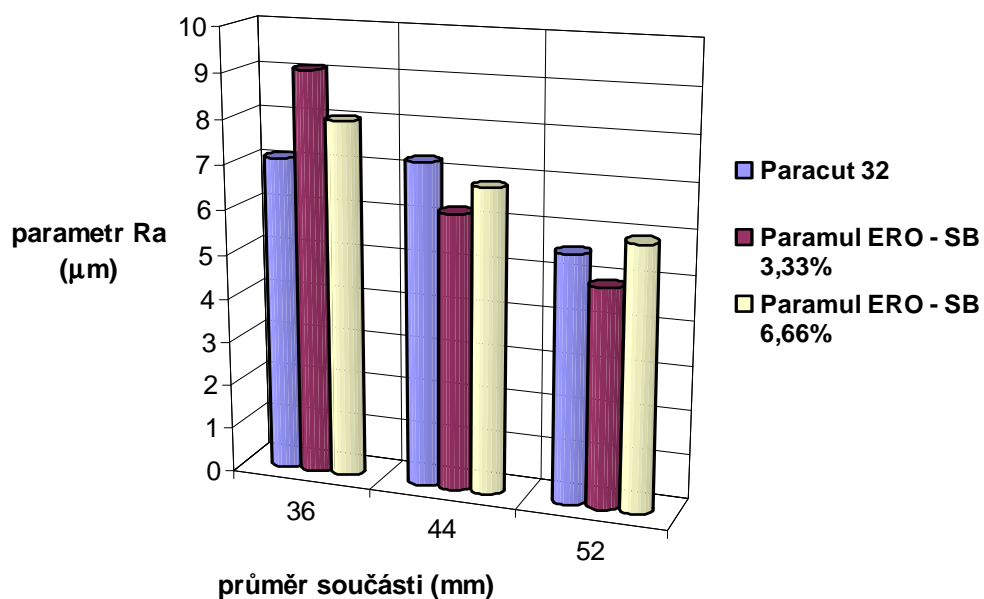
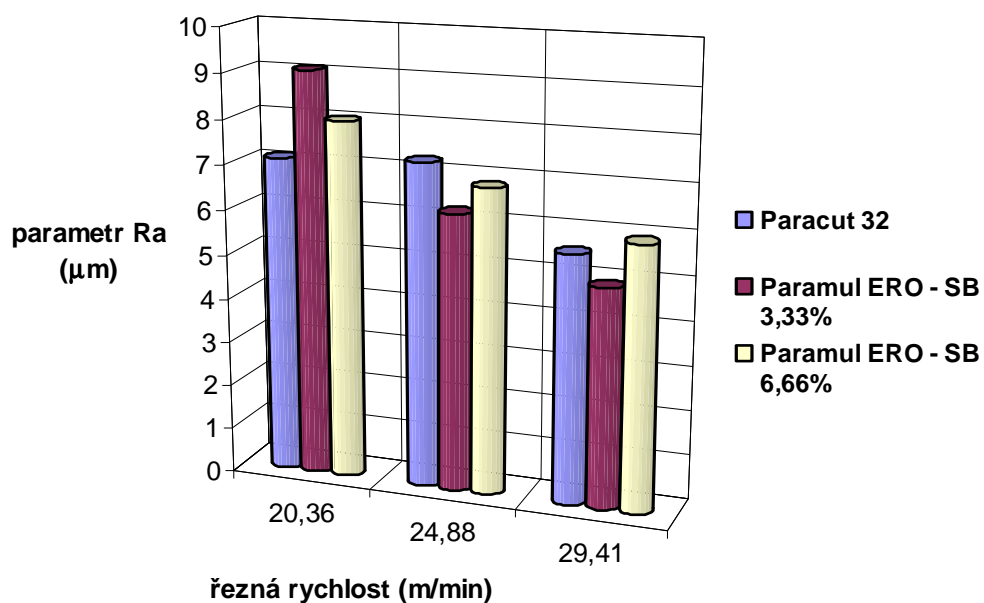
Při použití řezného oleje Paracut 32 vznikala po vlnité šroubovitě třísece, která je pro obrábění nevhodná, už na druhé nebo třetí odebírané vrstvě třísky obloukovitá dělená, která je pro obrábění velmi výhodná.

Při použití emulze Paramul ERO – SB vznikala při obou koncentracích třísky vinutá, která je také pro obrábění vhodná.

## Drsnost povrchu po podélném soustružení v závislosti na použité řezné kapalině – parametr $R_a$

Parametr  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ )

$\varnothing$ obrobku (mm)	řezná kapalina		
	<i>Paracut 32</i>	<i>Paramul ERO - SB 3,3%</i>	<i>Paramul ERO - SB 6,6%</i>
52	$5,6 \pm 0,7$	$4,9 \pm 0,4$	$5,9 \pm 1,2$
44	$7,3 \pm 1,3$	$6,2 \pm 0,9$	$6,8 \pm 0,4$
36	$7,1 \pm 1,1$	$9,1 \pm 0,9$	$8,0 \pm 0,5$

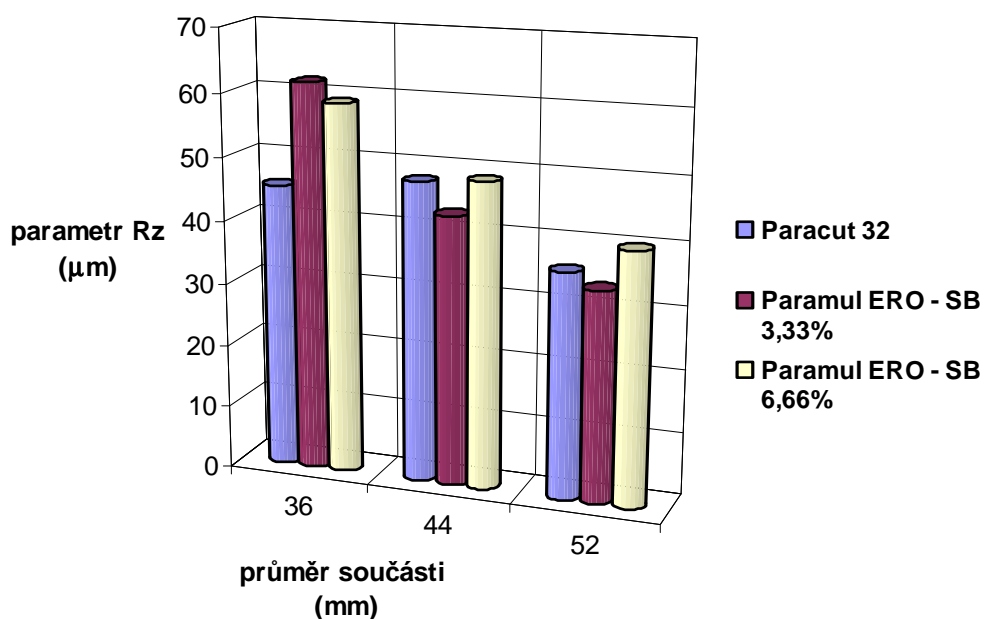
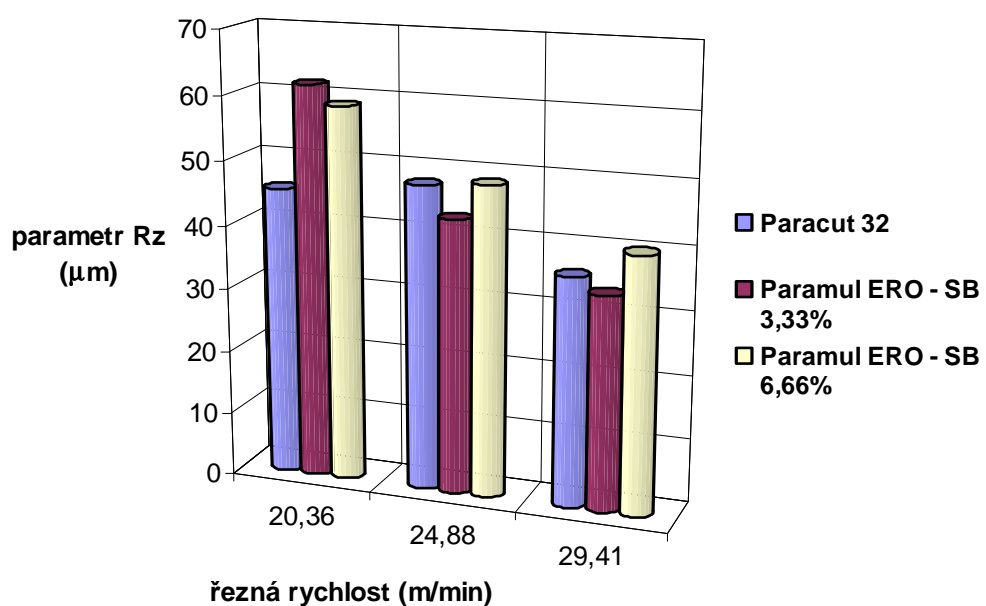


obr.7 Parametr  $R_a$  v závislosti na řezné rychlosti a průměru součásti

## Drsnost povrchu po podélném soustružení v závislosti na použité řezné kapalině – parametr $R_z$

Parametr  $R_z$  ( $\mu\text{m}$ )

$\varnothing$ obrobku (mm)	řezná kapalina		
	<i>Paracut 32</i>	<i>Paramul ERO - SB 3,3%</i>	<i>Paramul ERO - SB 6,6%</i>
52	$35,9 \pm 3,6$	$33,5 \pm 2,4$	$40,1 \pm 7,5$
44	$47,4 \pm 7,4$	$42,9 \pm 6,3$	$48,5 \pm 4,4$
36	$45,4 \pm 6,9$	$61,7 \pm 4,5$	$58,8 \pm 5,0$

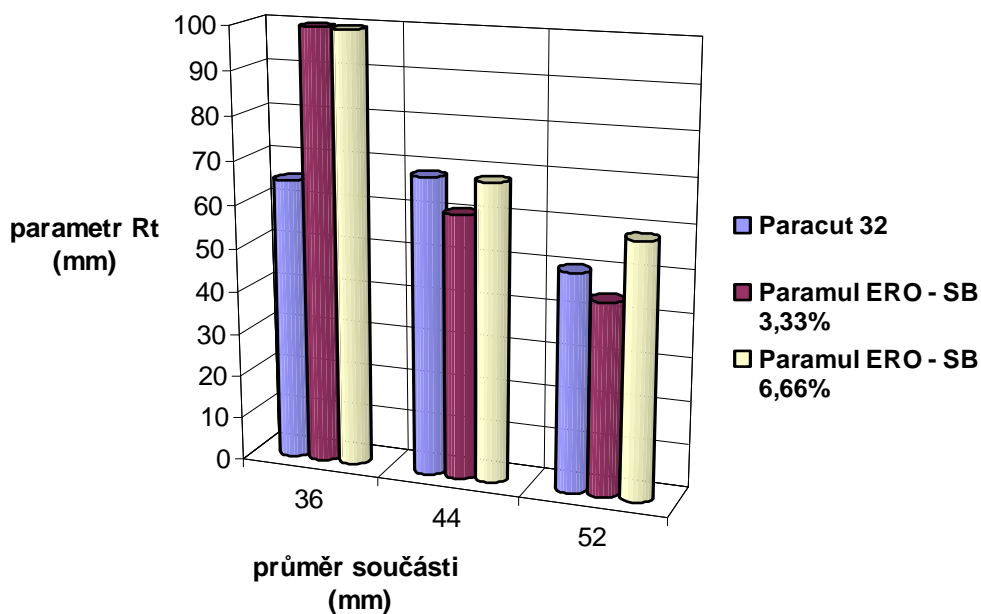
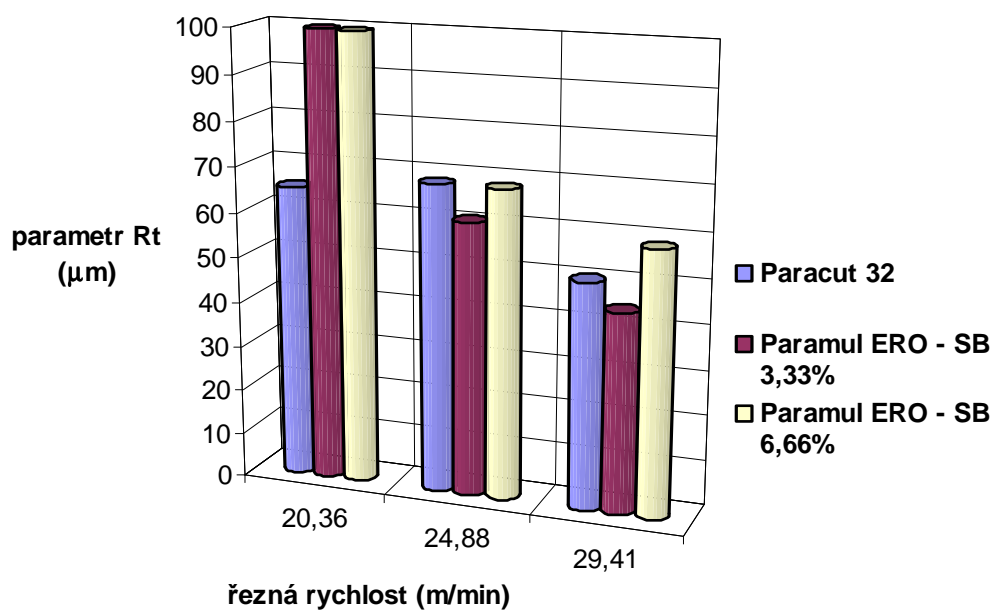


obr. 8 Parametr  $R_z$  v závislosti na řezné rychlosti a průměru součásti

## Drsnost povrchu po podélném soustružení v závislosti na použité řezné kapalině – parametr $R_t$

Parametr  $R_t$  ( $\mu\text{m}$ )

$\varnothing$ obrobku (mm)	řezná kapalina		
	<i>Paracut 32</i>	<i>Paramul ERO - SB 3,3%</i>	<i>Paramul ERO - SB 6,6%</i>
52	$50,2 \pm 4,4$	$44,4 \pm 4,2$	$58,5 \pm 12,2$
44	$68,4 \pm 10,7$	$60,6 \pm 8,8$	$68,4 \pm 9,0$
36	$65,2 \pm 11,2$	$99,7 \pm 3,2$	$99,5 \pm 11,3$

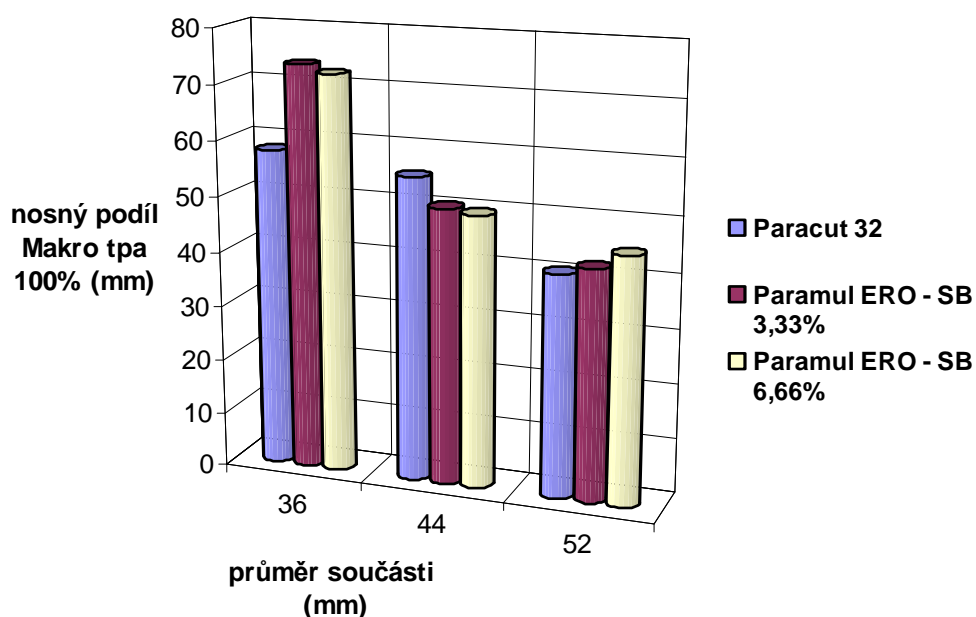
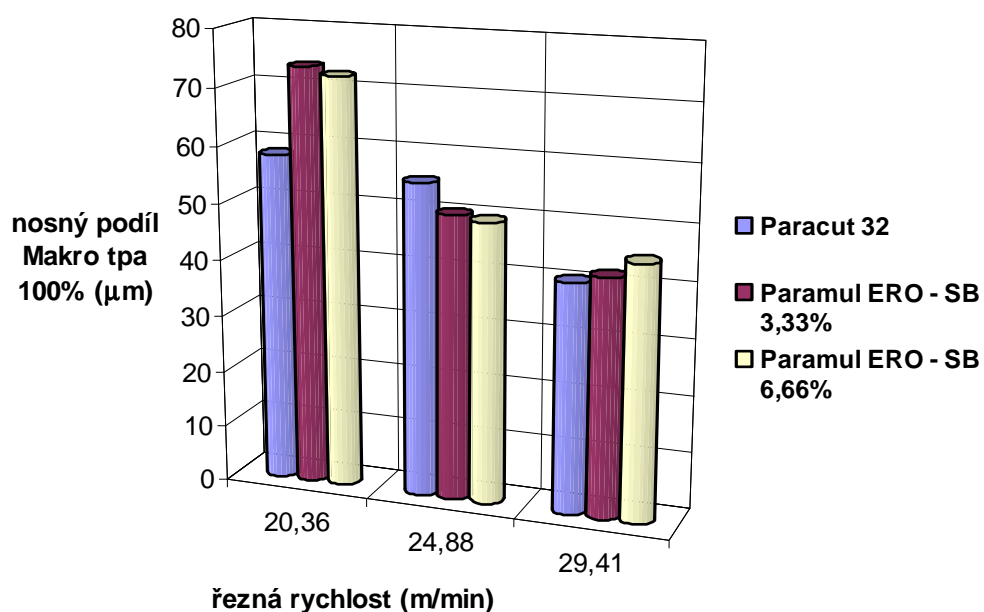


obr.9 Parametr  $R_t$  v závislosti na řezné rychlosti a průměru součásti

## Drsnost povrchu po podélném soustružení v závislosti na použité řezné kapalině – nosný podíl MAKRO $t_{pa}$

Nosný podíl MAKRO  $t_{pa}$  ( $\mu\text{m}$ )

Ø obrobku (mm)	řezná kapalina		
	<i>Paracut 32</i>	<i>Paramul ERO - SB 3,3%</i>	<i>Paramul ERO - SB 6,6%</i>
52	40,5 ± 1,0	42,0 ± 6,2	44,9 ± 4,1
44	55,3 ± 7,1	50,2 ± 5,9	49,5 ± 3,4
36	58,2 ± 9,5	73,7 ± 10,5	72,3 ± 12,6

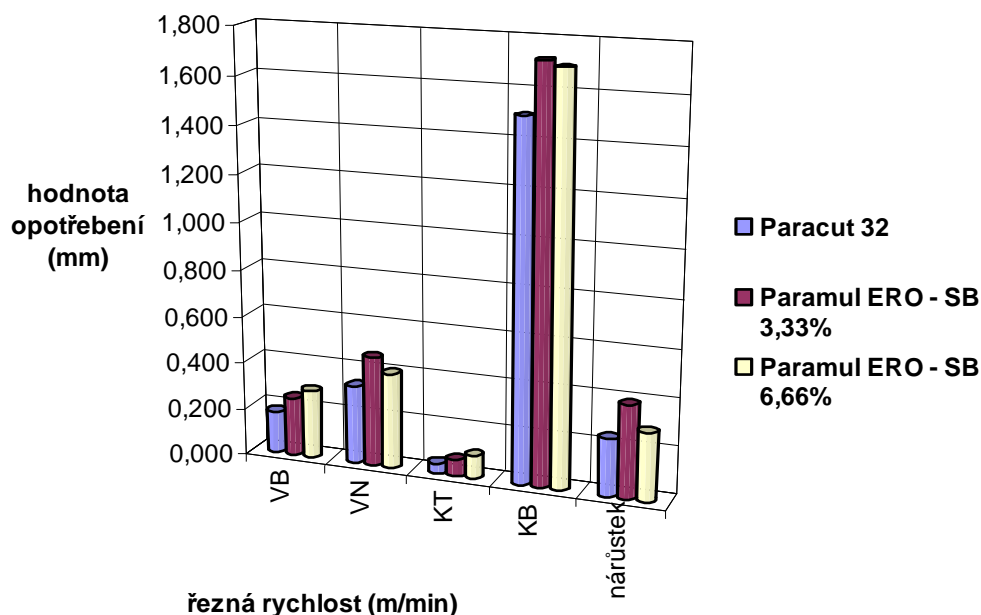


obr. 10 Nosný podíl MAKRO  $t_{pa}$  100% v závislosti na řezné rychlosti a průměru součásti

## Opotřebení řezného nástroje v závislosti na použité řezné kapalině

### Opotřebení řezného nástroje (mm)

parametr opotřebení	řezná kapalina		
	<i>Paracut 32</i>	<i>Paramul ERO - SB 3,3%</i>	<i>Paramul ERO - SB 6,6%</i>
<i>KB</i>	$1,503 \pm 0,036$	$1,720 \pm 0,037$	$1,698 \pm 0,170$
<i>KT</i>	$0,045 \pm 0,006$	$0,071 \pm 0,014$	$0,098 \pm 0,038$
<i>VB</i>	$0,181 \pm 0,029$	$0,249 \pm 0,035$	$0,290 \pm 0,016$
<i>VN</i>	$0,335 \pm 0,064$	$0,466 \pm 0,062$	$0,403 \pm 0,038$
<i>nárůstek</i>	$0,243 \pm 0,018$	$0,393 \pm 0,053$	$0,288 \pm 0,023$



obr. 11 Opotřebení nástroje

## 6. Závěr

Porovnání dvou řezných kapalin, konkrétně řezného oleje Paracut 32 a emulze Paramul ERO – SB o koncentracích 3,33% a 6,66%, bylo zaměřeno na zkoumání výkonových parametrů při podélném soustružení, dále byly vyhodnoceny parametry drsnosti povrchu součástí po obrábění a stanovena velikost opotřebení řezného nástroje po obrobení zkušební součásti. Současně bylo sledováno utváření třísky.

Měřením užitečného výkonu a řezné síly při soustružení bylo zjištěno, že předpokládané lepší mazací účinky řezného oleje Paracut 32 se projeví až při nižších řezných rychlostech.

Naopak při vyšších řezných rychlostech je vhodnější pro snížení spotřeby energie a řezné síly použít emulzi Paramul ERO – SB.

Měřením parametrů drsností povrchu: Ra, Rz, Rt a nosného podílu MAKRO  $t_{pa}$  100% bylo zjištěno, že se drsnost povrchu zvětšuje při snižování řezné rychlosti. Podle parametrů Ra, Rz a Rt bylo také prokázáno, že při snaze o dosažení co nejlepší drsnosti povrchu je vhodné použít při vyšších řezných rychlostech emulzi Paramul ERO – SB a naopak při nižších řezných rychlostech řezný olej Paracut 32. Parametr nosného podílu MAKRO  $t_{pa}$  100% dosáhl lepších hodnot při použití řezného oleje Paracut 32.

Při porovnání hodnot opotřebení, byla prokázány lepší vlastnosti řezného oleje Paracut 32, a to u všech parametrů opotřebení řezného nástroje.

Při měření střední hodnoty nárůstku bylo zjištěno, že řezný olej Paracut 32 společně s emulzí Paramul ERO – SB o koncentraci 6,66% dosahuje výrazně lepších výsledků, než emulze o koncentraci 3,33%, přičemž je nutné vzít v úvahu skutečnost, že byla prokázána vlastnost emulze Paramul ERO – SB působit proti vzniku nárůstků.

V oblasti utváření třísky bylo experimentálně prokázáno, že vznikající třísky jsou vhodné pro obrábění.

Z výsledků zkoušek podélného soustružení řezným olejem Paracut 32 a emulzí Paramul ERO – SB plynou následující závěry:

Při použití řezného oleje Paracut 32

- snížení spotřeby energie se projeví při nižších řezných rychlostech
- lepší parametry drsností povrchu(Ra, Rz, Rt) při nižších řezných rychlostech
- lepší výsledky nosného podílu MAKRO  $t_{pa}$  100%
- lepší výsledky z hlediska opotřebení nástroje

Při použití emulze Paramul ERO – SB

- snížení spotřeby energie se projeví při vyšších řezných rychlostech
- lepší parametry drsností povrchu(Ra, Rz, Rt) při vyšších řezných rychlostech
- zabránění vzniku nárůstků

## Seznam literatury

- [1]Bumbálek B.; *Řezné kapaliny*; 1. vydání; Praha;SNTL;1963
- [2]ČSN EN ISO 4287;Geometrické požadavky na výrobky – Struktura povrchu; Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu;Praha; Český normalizační institut;1999
- [3]Dráb V.; *Technologie I* ;2. vydání, TU v Liberci; 1985
- [4]Dráb V.; *Technologie I – Návod ke cvičení*; 2. vydání TU v Liberci 1989
- [5]*Efektívne použitie rezných kapalin pri obrábani*.Sborník přednášek; 1. vydání; Dům techniky ČSUTS Bratislava; 1988
- [6]*Efektivní využití nových řezných kapalin ve strojírenství*. Továrny strojírenské techniky;Praha; 1984
- [7]*Materiály firmy Paramo a.s.*
- [8]*Ověření vlastností řezných olejů při podélném soustružení*; TU v Liberci; 2000
- [9]Rektorys K.;*Přehled užití matematiky I. a II.*;7. vydání; Praha; Prometheus, s.r.o.;2000
- [10]*Řezné kapaliny*;Praha 5 – Řeporyje;TF S2 9441
- [11] *Zprávy o zkouškách řezných olejů provedených na katedře obrábění TU v Liberci pro firmu Paramo a.s.*

## Seznam příloh

*Protokoly z měření parametrů drsnosti povrchu, 33 stran*